

Teoría económica de los impuestos pigouvianos: información y eficiencia

-Introducción. -I.Los problemas de aplicación de la política ambiental. -II.Diseño y aplicación de la política ambiental: el modelo básico. -III. ¿Cuáles son los niveles alcanzables de emisiones?. -IV.Instrumentos óptimos para objetivos practicables. -V.La política ambiental óptima. -Conclusión. Apéndice. Referencias.

Introducción

La teoría microeconómica de la política ambiental sostiene que la puesta en práctica de un canon de emisiones de la magnitud adecuada siempre llevará a una reducción socialmente óptima en el flujo de contaminación de las empresas o actividades que producen una externalidad negativa. La teoría microeconómica demuestra que, en presencia de tales daños externos, la solución exige que los productores se enfrenten a un coste marginal de sus emisiones idéntico al daño marginal causado por ellos al nivel eficiente de contaminación. Los impuestos pigouvianos y los mercados de derechos de emisiones, no son más que instrumentos para poner en práctica estos principios teóricos (véase, por ejemplo, Baumol y Oates, 1988). Sin embargo, aunque los impuestos ambientales resultan convincentes en el marco de la teoría económica, éstos son raros, acaso inexistentes, en el mundo real. En la práctica, las autoridades prefieren la normativa ambiental a los instrumentos de mercado y a los incentivos económicos.

Este fracaso relativo de los economistas en el intento de ganar audiencia para sus propuestas de política ambiental es, en gran medida, una consecuencia directa de la gran distancia existente entre la teoría abstracta, de los que se derivan tales propuestas, y los mercados concretos, en los que se deben aplicar las recomendaciones de política económica. En otros términos, aunque los impuestos de Pigou, puedan ser racionales en el contexto del análisis de equilibrio general, también pueden resultar imposibles o muy difíciles de aplicar en el mundo real. Esto se debe a los problemas informacionales y tecnológicos que, al reducir el poder de los reguladores públicos, crean incentivos perversos, que permiten a las empresas evadir con éxito el cumplimiento de las metas ambientales.

El objetivo del presente trabajo es contribuir a acortar la distancia entre la teoría y la práctica de la política ambiental.¹ Para ello tendremos en cuenta los problemas de implementación, que se definen en la siguiente sección de este trabajo (sección I), para incorporarlos luego en un modelo general de análisis. Por otra parte, también queremos demostrar que ninguna de las dificultades reales para la aplicación de los impuestos de Pigou, autoriza la conclusión de que estos deben abandonarse en beneficio de otras alternativas supuestamente más prácticas, tales como sistemas de depósito y devolución, o subsidios por buen desempeño, etc.

A diferencia del modo tradicional de investigación teórica más abstracta, nuestro objetivo no consiste en la búsqueda de los impuestos pigouvianos ideales, sino de los impuestos más eficientes dentro de aquellos que sean susceptibles de ponerse en práctica.² Esto también

1 Formalmente una política ambiental está formada, en primer lugar, por un objetivo en materia de contaminación y, en segundo lugar, por un conjunto de instrumentos diseñados para la consecución de tal objetivo. Un objetivo puede definirse como un nivel de emisiones y, más exactamente, como una función que define el nivel esperado de emisiones de cada una de las empresas o fuentes de contaminación. Los instrumentos de política son, por ejemplo, impuestos ambientales, inspecciones a las empresas, sanciones por incumplimiento, etc.

2 En algunas situaciones generales las soluciones plenamente eficientes pueden ser también aplicables. Esto será tema de discusión en la sección V.

implica que, en nuestro caso, no podemos optar por la vía habitual de definir, primero, el nivel óptimo de la externalidad ambiental para, a continuación, elegir la mezcla adecuada de instrumentos (tales como impuestos, sanciones, probabilidades de inspección, etc.) que permitan conseguir el objetivo propuesto. En nuestro trabajo, la Agencia Ambiental sólo puede elegir entre objetivos que sean aplicables. Por este motivo, una vez presentado el modelo básico de regulación (en la sección II), nos preguntaremos cuáles son los objetivos alcanzables por la política ambiental dadas las restricciones tecnológicas y de información que debe enfrentar la Agencia Ambiental (sección III), y continuaremos identificando cuáles son los instrumentos óptimos de política ambiental que permiten obtener tales objetivos (sección IV). Estos objetivos alcanzables con sus instrumentos óptimos, nos permitirán identificar cuál es la mejor política ambiental (sección V), así como discutir diferentes casos particulares del modelo general y plantear las ineficiencias que resultan de las restricciones y problemas de implementación de la política ambiental. Las principales conclusiones se presentan en la última sección y en el apéndice se demuestran formalmente las condiciones necesarias y suficientes para que una política ambiental sea implementable.

I. Los problemas de aplicación de la política ambiental

Cualquiera que sea el objetivo marcado por la Agencia Ambiental, éste debe ser, simultáneamente, alcanzable y tan eficiente como sea posible dadas las restricciones impuestas por el marco institucional. En esta sección damos un repaso a los diferentes problemas que debe superar la Agencia Ambiental y que se presentarán tanto en el momento del diseño como durante la aplicación de la política ambiental. En términos generales, durante la etapa de diseño los problemas más importantes provienen de la existencia de información privada y de la posible colisión entre los objetivos públicos de mejorar la eficiencia económica reduciendo la contaminación y, al mismo tiempo, de recaudar una cantidad elevada de dinero vía tasas ambientales. Por su parte, en la etapa de implementación los problemas provienen principalmente del coste de aplicación y de las limitaciones de la tecnología de vigilancia.

Más concretamente, entre los problemas de diseño tenemos los siguientes:

- Primero, la Agencia no conoce perfectamente la información necesaria para el diseño de la política ambiental. Esta información es, básicamente, propiedad de las empresas a regular y se refiere a los costes de oportunidad de reducir el nivel de emisiones. En consecuencia, la Agencia deberá arbitrar algún mecanismo que permita la revelación honesta de tal información.

- Segundo, los gobiernos habitualmente no consideran la política ambiental como un modo de resolver un problema exclusivo de eficiencia económica, también se ve en ello la posibilidad de recaudar un volumen importante de ingresos (véase p. ej. Tietenberg, 1992 y Opschoor y Turner, 1993). En efecto, los impuestos recaudados tienen un valor positivo para el gobierno y por ello, podrían comprometer la eficiencia económica.

Para abordar estos problemas, en el trabajo desarrollamos una extensión del modelo básico de regulación con información asimétrica (véase Baron y Myerson, 1982; Fudenberg y Tirole, 1991; y Laffont y Tirole, 1992) que también se ha aplicado al diseño de instrumentos de política ambiental (p. ej. Dasgupta et al., 1980, y Spulber, 1988). Este contexto también es adecuado para estudiar la relación entre objetivos de eficiencia y objetivos recaudatorios ya que, en presencia de información privada, la agencia reguladora puede "extraer" rentas de información de las empresas (véase: Laffont y Tirole, 1992, cap. 10). Vale la pena mencionar que, en este trabajo, también demostraremos que la existencia de información privada y de otros problemas de implementación no son condiciones suficientes para descartar las soluciones de primer óptimo; para ello es indispensable que la Agencia asigne un objetivo recaudatorio a los impuestos y las multas por contaminación.

Si el diseño de la política ambiental es una materia difícil, no menos complicada es su puesta en práctica. En la fase de implementación aparecen los siguientes problemas:

- En primer lugar, para observar el comportamiento de las empresas es necesario gastar dinero en vigilancia de las fuentes de contaminación.

- En segundo lugar, sin observar las decisiones de las empresas, los incentivos de las empresas para declarar honestamente su comportamiento pueden ser muy débiles. La solución obvia es la vigilancia, pero, dado el carácter "fugitivo" de las emisiones,³ esto solamente puede efectuarse a-posteriori. El único modo, entonces, de medir las emisiones es a partir de autodeclaraciones de las empresas que puedan ser contrastadas a través de un número limitado de inspecciones (véase, p. ej. Harford, 1987, and Malik, 1993).

- En tercer lugar, en los casos relevantes, la tecnología disponible de vigilancia es más bien primitiva. De momento no se dispone de un filtro, o de algún dispositivo de final de tubería, que informe sin ambigüedad sobre la cantidad y la composición del efluente que pasa a través de él. De hecho, la vigilancia de las empresas debe depender de experimentos o muestreos, cuyos resultados debe interpretar la Agencia, dando lugar a los errores estadísticos conocidos. En la práctica, la Agencia puede incurrir en dos tipos de fallos cuando, sobre la base de la tecnología de vigilancia disponible, sanciona a una empresa que cumple o se abstiene de sancionar a una empresa que incumple.⁴

- Finalmente, a causa de todo lo anterior, la Agencia sólo puede determinar si una empresa cumple o no y, salvo casos de incumplimiento flagrante, es incapaz de determinar con precisión la magnitud de la desviación de emisiones con respecto al nivel aceptable.⁵

3 Con el término "fugitivas" se quiere poner de manifiesto que, una vez que una partícula contaminante abandona la fuente emisora o se disuelve en el medio receptor, es imposible para la Agencia Ambiental recuperar el camino recorrido por la misma y, en consecuencia, atribuir su responsabilidad a una empresa particular.

4 Se asume que no existen restricciones legales que impidan cobrar efectivamente las multas ambientales.

5 Este problema no es relevante en nuestro modelo de análisis. Como se verá más adelante, la solución óptima para la Agencia consiste en cobrar siempre la multa máxima para penalizar cualquier exceso de emisiones.

Este tipo de problemas ha sido analizado, por ejemplo, por Martin (1984), Russell, Harrington y Vaughan (1986), y por Russell (1990). El propósito de estos autores consistía, sin embargo, en diseñar políticas de inspección de mínimo coste para obtener un nivel de emisiones definido exógenamente. En consecuencia, en ese tipo de análisis se deja de lado el tratamiento de la eficiencia de la política ambiental.⁶ Nuestro propósito, más ambicioso que el anterior, consiste en formular una teoría general en la que se traten simultáneamente los problemas de diseño y de aplicación de la política ambiental. Por ello incorporamos las imperfecciones de la tecnología y las restricciones de información en el problema general de la regulación ambiental, lo que se consigue adaptando el enfoque propuesto por Laffont and Tirole (1992, cap. 10) para estudiar los problemas de auditoría con maquillaje de costes.

II. Diseño y aplicación de la política ambiental: el modelo básico

A partir de ahora estudiamos en problema de regulación ambiental en el contexto de la teoría del diseño de mecanismos. Así, la política ambiental se define como un equilibrio bayesiano de Nash de un juego de revelación que consta de las siguientes tres etapas: (a) en la primera etapa, la agencia diseña un mecanismo, o menú de contratos, en el que se especifican los distintos niveles de emisiones por los que pueden optar las empresas y el impuesto correspondiente que deben pagar por cada uno de ellos; (b) en la segunda etapa, las empresas deciden si participan o no en el juego y, en caso de hacerlo, declaran el que será su nivel de emisiones para el período siguiente y pagan por adelantado los impuestos correspondientes; (c) en la

6 Xepapadeas (1992), Govindasamy, et al. (1994) y otros autores ofrecen una aproximación alternativa en la que la Agencia se limita exclusivamente a controlar el nivel de calidad del medio receptor (fijando lo que se conoce como un estándar ambiental) sin necesidad de vigilar el comportamiento de las empresas particulares responsables del mismo. En ese contexto, típico de los problemas de contaminación difusa, se acepta que el comportamiento de las empresas es imposible de observar. Por ello, tales autores se ven obligados a diseñar un sistema de sanciones aleatorias que se ponen en marcha cuando no se alcanza el estándar de calidad ambiental. En este trabajo tratamos de evitar ese tipo de alternativas, interesantes desde el punto de vista teórico pero incompatibles con cualquier marco jurídico plausible. Por ello, preferimos suponer que la vigilancia ambiental a las empresas, aunque imperfecto y costoso, es una alternativa practicable.

tercera etapa, las empresas producen y contaminan y la Agencia ambiental les inspecciona, con una probabilidad conocida, que depende del nivel declarado de emisiones, y sanciona a aquellas empresas que obtengan una auditoría ambiental desfavorable.

Para simplificar el análisis, asumimos un único agente (una empresa) que interactúa con un principal (la Agencia Ambiental). Sin embargo, como es bien sabido en la literatura, los resultados se pueden generalizar a una situación con múltiples agentes independientes (véase, por ejemplo, Laffont y Tirole, 1992, y Fudenberg y Tirole, 1991, cap. 7).

A. Los costes de oportunidad como información privada

Para el modelo básico consideramos solamente una empresa individual cuyos costes de producción ($c(x, \theta)$)⁷ dependen negativamente del nivel de emisiones de contaminación (x) y positivamente de un parámetro (θ), que resume la información privada de la empresa. Asumimos, por conveniencia, que θ es un número positivo cuyo valor es conocido por la empresa, pero no puede ser observado directamente por la Agencia. Entre los factores que determinan el valor de θ se encuentran los precios de los insumos productivos (p. ej. carbón o petróleo de distinto potencial energético o contaminante), la demanda de los bienes finales que produce la empresa, el coste de oportunidad de poner en marcha los dispositivos de control de emisiones, etc. Tales elementos son altamente variables en el tiempo y, en consecuencia, la Agencia tiene una capacidad limitada de aprendizaje. Por otra parte los costes de producción son decrecientes y cóncavos en el nivel de emisiones y crecientes con el tipo de empresa. En otros términos:⁸

-
- 7 Aparte de su sencillez matemática, esta función es compatible con una función de costes totales separable en el nivel de emisiones. Este tipo de funciones es común en la literatura y puede encontrarse, por ejemplo, en: Swierzbinsky (1994), Russell (1990), Spulber (1988) y Nichols (1984).
- 8 A diferencia de otros trabajos (véanse las referencias de la nota anterior) en nuestro caso la variable de decisión de las empresas es un nivel de emisiones y no una reducción con respecto a un nivel máximo de emisiones. También es fácil comprobar que la función de costes definida arriba es compatible con el supuesto general de costes marginales crecientes de reducción de emisiones.

$$(1) \quad \frac{\partial c}{\partial x} < 0, \quad \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} > 0, \quad \frac{\partial c}{\partial \theta} > 0, \quad \frac{\partial^2 c}{\partial \theta^2} > 0$$

Siguiendo la metodología estándar, y para facilitar la interpretación de los resultados, definimos los signos de las siguientes derivadas:

$$(2) \quad \frac{\partial^2 c}{\partial x \partial \theta} < 0, \quad \frac{\partial^3 c}{\partial x^2 \partial \theta} > 0$$

Además, en ausencia de una política ambiental, la empresa elegirá siempre el máximo nivel económico de emisiones ($x^M(\theta)$); es decir, aquel que le permite obtener el coste más bajo de producción. Así, la función de costes de producción puede definirse de modo tal que el coste mínimo sea igual a cero (es decir: $c(x^M(\theta), \theta) = 0$).

Finalmente, la Agencia conoce los valores máximos y mínimos de θ .

$$\theta \in \left(\underline{\theta}, \bar{\theta} \right)$$

y la función de distribución diferenciable $F(\theta)$ cuya densidad es $f(\theta)$. Sin embargo, como hemos dicho, la agencia es incapaz de asignar un tipo específico a la empresa.

B. Instrumentos de la política ambiental

La Agencia utiliza su poder para fijar un mecanismo, o menú de contratos, con los siguientes cuatro instrumentos:

a. Una función, o perfil, de decisiones, $x(\theta)$, que define el nivel de emisiones deseable para cada tipo (θ) de empresa;

b. Una función de impuestos, o de transferencias directas ($t(x'(\theta))$), que especifica la cantidad de dinero que la empresa debe pagar por adelantado de acuerdo con el nivel declarado del que será su nivel de emisiones durante el período siguiente (x');

c. Una función $\lambda(x'(\theta))$ que define la probabilidad de que la empresa sea sometida a una auditoría ambiental, dependiendo del nivel declarado de emisiones; y, finalmente,

d. Una multa, o sanción financiera, $m(x'(\theta))$, que deberá pagar la empresa en caso de que obtenga una auditoría ambiental negativa.

C. Costes de cumplimiento de la empresa regulada

Los costes de la empresa sometida a regulación pueden provenir entonces de la producción, de los impuestos ambientales y de las sanciones financieras. Los dos primeros conceptos ya han sido definidos arriba. Ahora debemos definir con propiedad los costes de las sanciones financieras.

Como se mencionó en el segundo apartado, la tecnología de vigilancia es imperfecta. La Agencia no puede medir las emisiones de la empresa; sólo le es posible contrastar si lo que la empresa declara es o no cierto, y su dictamen sobre esta cuestión debe basarse en el análisis de muestras limitadas con instrumentos de medida que no son fiables al cien por cien. En consecuencia, la Agencia puede juzgar de un modo incorrecto el comportamiento de las empresas sometidas a una auditoría; diremos que esto ocurrirá con una cierta probabilidad z ($0 < z < 1$).⁹

Si asumimos que la empresa es neutral al riesgo y, en consecuencia, la función de costes es cuasilineal en las transferencias esperadas, el coste esperado de la empresa que declara y cumple honestamente con un nivel de emisiones (x'); estará dado por:

9 Un ejemplo puede aclarar el significado de esta probabilidad z . La tecnología imperfecta de vigilancia puede conducir a la Agencia a cometer dos tipos de errores: primero los instrumentos pueden reportar una medida incorrecta, lo que ocurre con una probabilidad conocida $(1-a)$; y, segundo, la Agencia, al interpretar tales medidas estadísticamente, puede aceptar la medida obtenida (con una probabilidad b) o rechazarla (con probabilidad $1-b$). En este caso, z , la probabilidad de juzgar equivocadamente el comportamiento de las empresas, será entonces igual a $z = a(1-b) + (1-b)a$. Esta probabilidad también fue definida, aunque en un contexto diferente de regulación, por Laffont y Tirole (1992, cap. 12). Una amplia justificación de este razonamiento, aplicado a la política ambiental, puede consultarse Russell (1990).

$$\phi(x', \theta) = c(x'(\theta), \theta) + t(x'(\theta)) + \lambda(x'(\theta))mz$$

El incumplimiento de la regulación ambiental ocurre cuando la empresa declara un nivel de emisiones (x') y, a continuación, emite una cantidad superior. En este caso, la decisión lógica de una empresa que decide arriesgarse a violar la regulación consiste en emitir el nivel máximo (en ese caso, $c(x^M(\theta))=0$). El coste esperado de una empresa que declara x' ; y emite $x^M(\theta)$ estará dado por:

$$\phi(x^M, \theta) = t(x'(\theta)) + \lambda(x'(\theta))m(1-z)$$

De acuerdo con el principio de revelación (véase: Gibbard, 1973; Green y Laffont, 1977; Dasgupta et. al., 1979; y Myerson, 1979), la Agencia debe limitarse a utilizar los mecanismos que consigan, primero, que las empresas revelen honestamente su tipo (θ) cuando declaran su nivel de emisiones del período siguiente (x), y, a continuación, que en la tercera etapa del juego cumplan exactamente con lo declarado. En consecuencia, las soluciones del juego de regulación se pueden caracterizar por el cumplimiento de las siguientes condiciones necesarias:

- | | | |
|-------|--|------------------------------|
| (3.a) | $c(x(\theta), \theta) + t(\theta) + m\lambda(\theta)z \leq c(x(\theta'), \theta) + t(\theta')m\lambda(\theta')z$ | Compatibilidad de incentivos |
| (3.b) | $c(x(\theta), \theta) + t(\theta) + m\lambda(\theta)z \leq t(\theta) + m\lambda(\theta)(1-z)$ | Aplicabilidad |
| (3.c) | $c(x(\theta), \theta) + t(\theta) + m\lambda(\theta)(1-z) \leq \phi^M$ | Participación |

La condición (3.a) significa que la función de decisiones, $x(\theta)$, es incentivo compatible. Es decir, que la empresa resuelve su problema de minimización de costes eligiendo precisamente el nivel de emisiones (x) que el regulador desea que elija ese tipo específico (θ) de empresa. En otras palabras, la empresa no tiene incentivos financieros para mentir acerca de su información privada.

La condición (3.b) significa que, una vez que la empresa ha anunciado sus emisiones para el período siguiente, su estrategia óptima consiste en comportarse de acuerdo con lo declarado a la Agencia.¹⁰

10 Como la Agencia sólo puede determinar si la empresa cumple o no, las multas no pueden depender de un nivel observable de emisiones.

Finalmente, la condición (3.c), también conocida como condición de racionalidad, significa que todas las empresas deciden participar en el juego. Normalmente las empresas tienen un coste de reserva (θ^M), que asumimos independiente del tipo de empresa, por encima del cual toman la decisión de retirarse del mercado. En la mayor parte del trabajo asumiremos que esta restricción no se satura y solamente la introduciremos como un caso particular en la discusión de los instrumentos y objetivos de la política ambiental óptima.

En las siguientes secciones procedemos a solucionar el problema de regulación, lo cual afrontaremos resolviendo sucesivamente las siguientes tres preguntas centrales: primero ¿qué objetivos ambientales, o funciones de decisión, son susceptibles de poner en práctica?. Segundo, para cada objetivo practicable, ¿cuáles son los instrumentos óptimos que permiten aplicarlo?. Tercero, dentro de los objetivos aplicables, y suponiendo que estos se obtienen mediante instrumentos óptimos ¿cuál es la política ambiental más eficiente?.

III. ¿Cuáles son los niveles alcanzables de emisiones?

De acuerdo con la compatibilidad de incentivos, condición [3.a], podemos deducir que un perfil de emisiones ($x(\theta)$) es aplicable sí y sólo sí es no decreciente en el tipo de empresa. Este resultado es una consecuencia de la condición de clasificación de Mirlees.¹¹ Es decir, a las empresas de tipos peores, con valores más elevados de θ o, lo que es equivalente, con costes marginales más elevados de reducción de emisiones, se les debe permitir un nivel de emisiones al menos tan elevado como a las demás empresas. La demostración formal de este resultado fundamental se encuentra en el apéndice.

No obstante, a continuación se ofrece una explicación intuitiva en un caso simple en el que hay solamente dos tipos posibles de empresa: con bajos o altos costes para reducir emisiones (con un valor de θ bajo o alto).

11 En el modelo básico esta condición necesaria de aplicabilidad es también suficiente dado que la relación marginal de sustitución entre transferencias y costes de producción es igual a uno (véase también Guesnerie y Laffont, 1984).

Objetivos practicables: el caso discreto

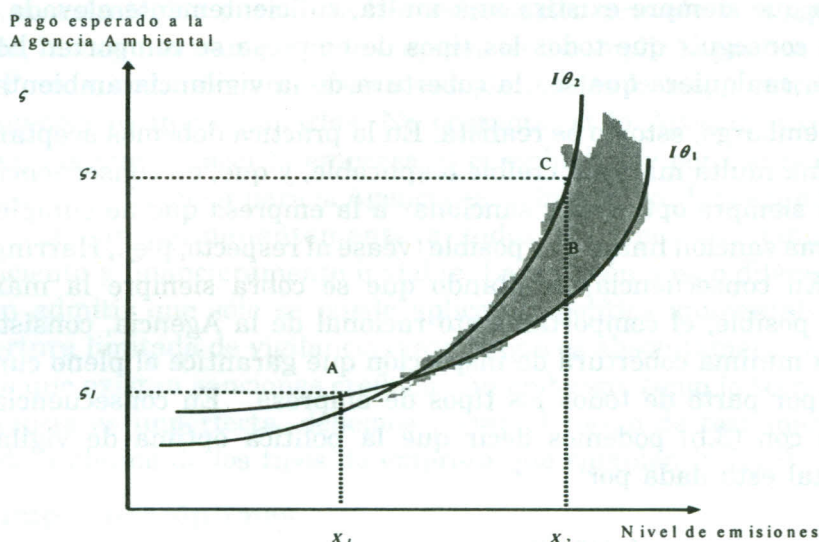
Supongamos que la empresa sólo puede ser de uno de dos tipos posibles, con igual probabilidad, caracterizados por θ_1 (tipo 1) y θ_2 (tipo 2), y que $\theta_1 < \theta_2$. Definamos, a continuación, $\zeta(\theta)$ como la transferencia esperada que ha de hacer la empresa a la Agencia (impuestos más multas), cuando la empresa se comporta honestamente (es decir: $\zeta = t + \lambda m z$). En la Figura 1, se utilizan las curvas de isocoste para ilustrar los contratos incentivo compatibles. El punto A es un contrato diseñado por la agencia para el tipo de empresa más eficiente (de tipo θ_1). El contrato está formado por un nivel de emisiones deseable y un nivel de transferencias esperadas. Una vez elegido este contrato, se reducen las alternativas de posibles contratos que pueden ofrecerse al tipo de empresa menos eficiente (de tipo θ_2), por varias razones. En primer lugar, el contrato de la empresa de tipo 2 no puede estar debajo de la curva de isocoste de la empresa de tipo 1 (ϕ_1). En ese caso, la empresa de tipo 1 tendría incentivos financieros para declarar que su tipo es el otro y, de ese modo, situarse en una curva de isocostes mejor. En segundo lugar, la curva de isocostes de la empresa tipo 2 es más pendiente ya que su relación marginal de sustitución entre transferencias y emisiones es mayor. Por ello, el contrato que la agencia diseñe para la empresa tipo 2 no podrá cruzar por ningún punto que se encuentre en la vertical del punto A, ni podrá estar por encima de la curva de isocostes ϕ_2 . Si así fuera, este tipo de empresa tendrá incentivos para mentir, aparentando ser del tipo 1 y ahorrando costes. Los contratos factibles solo pueden estar entonces en la zona sombreada de la Figura 1 y, en consecuencia, las emisiones de la empresa de tipo 2 sólo pueden estar a la derecha de x_1 . En otras palabras, en cuanto mayor sea el coste marginal de reducir las emisiones por parte de la empresa (en cuanto más elevado sea θ) mayor será el nivel de emisiones que debe permitírsele.

IV. Instrumentos óptimos para objetivos practicables

Podemos ahora determinar los instrumentos óptimos que permiten la puesta en práctica de los objetivos factibles de la política ambiental.

Para cada objetivo factible definimos a continuación, en primer lugar, las probabilidades óptimas de inspección y las sanciones óptimas por incumplimiento y, en segundo lugar, los impuestos ambientales óptimos cuando se cumple y no se cumple la restricción de participación.

Figura 1
Políticas ambientales incentivo-compatibles



A. Multas y probabilidades óptimas de inspección

En primer lugar, de la condición de aplicabilidad (3.b) podemos deducir que la probabilidad de inspección y la sanción por incumplimiento están relacionadas del siguiente modo:

$$\lambda(\theta) \geq \frac{c(x(\theta), \theta)}{m(\theta)(1-2z)}$$

Es decir, para una multa dada (m), la probabilidad de que la empresa sea investigada tiene que ser como mínimo igual al cociente entre el

ahorro de costes que consigue la empresa incumpliendo la regulación y la multa multiplicada por la probabilidad de que la empresa sea efectivamente sancionada después de una auditoría.

Vigilar a las empresas tiene un coste positivo y cobrar multas no. Por ello, entre vigilar e inspeccionar a un número elevado de empresas o amenazar con multas muy elevadas, la Agencia optará claramente por la segunda alternativa. En otras palabras, la Agencia siempre preferirá mantener la menor cobertura de vigilancia (λ) posible. En teoría, esto significa que siempre existirá una multa, suficientemente elevada, que permite conseguir que todos los tipos de empresa se comporten honestamente, cualquiera que sea la cobertura de la vigilancia ambiental.

Sin embargo, esto no es realista. En la práctica debemos aceptar que existe una multa máxima, creíble o aplicable, y que, en consecuencia, la Agencia siempre optará por sancionar a la empresa que no cumple con la máxima sanción financiera posible (véase al respecto, p.ej., Harrington, 1988). En consecuencia, aceptando que se cobra siempre la máxima sanción posible, el comportamiento racional de la Agencia, consiste en elegir la mínima cobertura de inspección que garantice el pleno cumplimiento por parte de todos los tipos de empresa. En consecuencia, de acuerdo con (3.b) podemos decir que la política óptima de vigilancia ambiental está dada por:

$$(4) \quad \lambda^*(\theta) = \frac{c(x(\theta), \theta)}{\bar{m}(1 - 2z)}$$

El objetivo de la política de vigilancia consiste en garantizar que las empresas ajustan su nivel de emisiones al que declaran en el período previo. Sin embargo, como la tecnología de vigilancia es imperfecta, existe alguna probabilidad de que la empresa sea sancionada aun en el caso de que se comporte con honestidad. Por ello, la solución planteada implica la imposición y el recaudo de multas injustas. Podría pensarse que estas multas no deben recaudarse, ya que en equilibrio todas las empresas cumplen con lo prescrito. Sin embargo, todo el funcionamiento

del juego de regulación exige que las multas sean una amenaza creíble y su eliminación no haría más que eliminar los incentivos para la revelación honesta de la información privada.

La solución a la contradicción que supone sancionar a empresas que cumplen la ley, consiste en admitir que la Agencia debe comprometerse a imponer algunas sanciones para preservar su reputación. El origen de este problema se encuentra en dos propiedades específicas del juego de regulación. La primera es la ausencia de una solución estable de equilibrio en estrategias puras. Si hay información privada y la agencia no vigila, la mejor estrategia de la empresa es incumplir la política ambiental. Pero, si todas las empresas incumplen la ley la mejor estrategia de la Agencia es inspeccionarlas. No obstante, si la Agencia investiga lo mejor que puede hacer la empresa es cumplir la ley pero, si la empresa cumple la ley lo mejor para la Agencia es no investigar. En segundo lugar, inspeccionar permanentemente a todos los tipos de empresa es ineficiente y financieramente inviable. La solución a este dilema consiste en admitir que sólo se puede aplicar la política ambiental con una cobertura limitada de vigilancia, para lo que es absolutamente indispensable que existan sanciones creíbles. Sin embargo, como la tecnología de vigilancia es imperfecta, debemos correr el riesgo de terminar sancionando a alguno de los tipos de empresa que cumplen la ley.¹²

B. Impuestos óptimos

El siguiente paso consiste en obtener la función óptima de impuestos ambientales que permiten conseguir un objetivo de emisiones. Para ello utilizaremos el procedimiento propuesto por Mirlees (1971).

12 Podría ocurrir que, antes de hacer efectivas las multas, la Agencia Ambiental se viese obligada a demostrar ante un tercer agente (v. gr. una corte judicial) que la empresa efectivamente incumple la legislación ambiental. En este caso, la evidencia estadística (que no demuestra culpabilidad por encima de toda duda razonable), podría resultar una prueba relativamente frágil. Sin embargo, si existe alguna probabilidad positiva de que se acepte este tipo de evidencia, podría remplazarse el valor de m por su valor esperado y el problema general no se vería afectado de un modo fundamental. Si, por el contrario, la evidencia estadística no constituye una prueba suficiente, entonces la existencia de una tecnología de vigilancia imperfecta hará imposible definir o aplicar un objetivo ambiental vía impuestos sobre emisiones.

En primer lugar definimos el coste total esperado de la empresa de tipo θ que revela, al elegir un nivel de emisiones, ser del tipo θ' :

$$(5) \quad C(\theta, \theta') = c(x(\theta'), \theta) + t(\theta') + m\lambda(\theta')z$$

para que el esquema de impuestos sea incentivo compatible se requiere que la mejor estrategia de la empresa consista en declarar su verdadero tipo. Es decir, que, en la solución privada de mínimo coste, lo declarado θ sea igual a θ . Esta condición puede representarse a través de la siguiente función de valor mínimo:

$$(6) \quad \varphi(\theta) = \underset{\theta}{\text{MIN}} c(x(\theta'), \theta) + t(\theta') + m\lambda(\theta')z \equiv C(\theta, \theta) \equiv C(\theta)$$

y, de acuerdo con el teorema de la envolvente:

$$(7) \quad \frac{\partial \varphi(\theta)}{\partial \theta} = \frac{\partial C(\theta)}{\partial \theta}$$

lo que implica, integrando:

$$(8) \quad C(\theta) = c(\theta) + \int_{\theta}^{\theta} \frac{\partial C}{\partial \theta} d\theta$$

Sustituyendo la expresión (8) y la cobertura óptima de vigilancia (4) en la función de coste total esperado (5), obtenemos la siguiente función óptima de impuestos ambientales, para cada tipo de empresa, cuando la restricción de participación no está activa:

$$(9) \quad t(\theta) = c(\theta) - c(x(\theta), \theta) \left(\frac{1-z}{1-2z} \right) + \int_{\theta}^{\theta} \frac{\partial C}{\partial \theta} d\theta$$

De acuerdo con esta ecuación, el coste esperado total del tipo de empresa más eficiente (es decir, aquel con el menor valor de $\theta = \underline{\theta}$), se puede fijar con independencia de la condición de compatibilidad de

incentivos. A partir de ese valor, se puede diseñar una función de impuestos ambientales de tal manera que ninguno de los tipos siguientes de empresa pueda obtener beneficios aparentando ser de un tipo distinto al que realmente es.

C. Una ilustración de los impuestos óptimos

El ejemplo discreto con dos tipos posibles de empresa puede ayudarnos a entender los instrumentos óptimos definidos en las expresiones (4) y (9). Retomemos la Figura 1 y asumamos que la Agencia desea que si la empresa es del tipo 2 ajuste su nivel de emisiones hasta x_2 . Una posible solución consistiría en ofrecerle a tal empresa el contrato B. Sin embargo, aunque esta solución es incentivo compatible, no es eficiente desde el punto de vista del regulador. La Agencia podría obtener más dinero eligiendo el contrato C (sobre la curva de isocoste θ_2), y sin que ello implique que aparezcan incentivos negativos para revelar la información privada.

Esta condición es aun más importante cuando existen más tipos posibles de empresas. Supongamos que existe un tipo de empresa nuevo aún menos eficiente que el tipo 2 ($\theta_3 > \theta_2$). En ese caso, el contrato B no sólo será perjudicial porque es posible recaudar más impuestos, sino también porque limitará, aún más, los contratos posibles que puedan proponerse para las empresas de tipos superiores (dada la necesidad de preservar la compatibilidad de incentivos).

D. Impuestos óptimos con restricción de participación

Puede ocurrir que los impuestos óptimos resulten tan elevados para algunos tipos de empresa decidan retirarse del mercado. En ese caso, estará activa la restricción (3.c) y puede ocurrir también, como es frecuente en las legislaciones nacionales, que ninguna empresa, con independencia de su tipo, pueda ser expulsada del mercado como consecuencia de una regulación ambiental. En ese caso, debemos reformular la función de impuestos óptimos introduciendo la restricción de que el peor tipo de empresa debe tener un coste esperado total igual a su coste de reserva (es decir debemos introducir una restricción en el

tope de la función de distribución). Este coste de reserva nos dará el máximo nivel de impuestos que puede recaudarse de una empresa sin expulsarla del mercado. Siguiendo el mismo procedimiento del apartado B, se puede recalcular la función de impuestos que permita mantener la compatibilidad de incentivos para los valores inferiores de θ . El resultado es el siguiente perfil de impuestos óptimos:

$$(10) \quad t(\theta) = \phi^M - c(x(\theta), \theta) \left(\frac{1-z}{1-2z} \right) - \int_{\theta}^{\theta} \frac{\partial C}{\partial \theta} d\theta$$

E. Recapitulando

En resumen: un perfil de emisiones es factible si es no decreciente en el tipo de empresa. Para cada perfil factible de emisiones existe un conjunto óptimo de instrumentos de política ambiental que se condensan en una cobertura de vigilancia (ecuación (4)) y en una función de impuestos óptimos definido en la ecuación (9), cuando no está activa la restricción de participación y por la ecuación (10) cuando se debe evitar el riesgo de expulsar alguna empresa del mercado como consecuencia de la política ambiental.

V. La política ambiental óptima

Una vez definidos los objetivos posibles en materia de emisiones y los instrumentos óptimos que permiten alcanzarlos, podemos abordar el problema de seleccionar la política ambiental óptima. Para ello definiremos, en primer lugar, la función objetivo de la autoridad ambiental.

El objetivo de la agencia ambiental

Como es natural, la Agencia deberá elegir, entre todas las alternativas practicables, aquella que suponga el mínimo coste para la sociedad. Tal coste social deberá incorporar, en primer lugar, todos los costes reales de la calidad ambiental obtenida. Es decir, el coste privado que supone para las empresas la reducción de emisiones, los costes de oportunidad de aplicar la política ambiental y, finalmente, el coste que

impone a la sociedad el daño imputable a la contaminación residual. En segundo lugar, desde el punto de vista público, como hemos insistido, la política ambiental brinda la oportunidad de recaudar un conjunto de recursos vía impuestos y sanciones ambientales que, en nuestro caso, también deben valorarse como un beneficio de la regulación al que el gobierno no es indiferente.

De acuerdo con lo anterior, la función objetivo de la agencia estará formada por la suma de los siguiente elementos:

- En primer lugar, por la función de daño asociada al nivel de emisiones de la empresa. Para ello, podemos asumir una función de daño ambiental ($D(\theta) = D(x(\theta), \theta)$) creciente en el nivel de emisiones y creciente y convexa en el tipo de empresa. Si el regulador es neutral al riesgo, la función de daño ambiental esperado puede definirse como:

$$(11) \quad D = \int_{\theta}^{\bar{\theta}} D(x(\theta), \theta) f(\theta) d\theta$$

- En segundo lugar, dada la incertidumbre de la agencia sobre las características de la empresa, podemos definir la función de coste esperado de producción de la empresa del siguiente modo:

$$(12) \quad C = \int_{\theta}^{\bar{\theta}} C(x(\theta), \theta) f(\theta) d\theta$$

- En tercer lugar, si definimos γ como el precio sombra de una unidad de ingreso en manos del sector público y v como el coste unitario de inspeccionar una empresa, obtendremos la siguiente función para el coste de vigilancia ambiental a una empresa tipo θ :

$$I(\theta) = (1 + \gamma)v \frac{c(x(\theta), \theta)}{\bar{m}(1 - 2z)}$$

De lo que podemos deducir la siguiente función de coste esperado de la vigilancia ambiental:

$$(13) \quad I = \int_{\underline{\theta}}^{\bar{\theta}} (1+\gamma)v \frac{c(x(\theta), \theta)}{\bar{m}(1-2z)} f(\theta) d\theta$$

• En cuarto lugar, asumiendo que no existen impedimentos legales para que la Agencia imponga sanciones sobre la base de los resultados de una inspección a la empresa, podemos definir el valor esperado de los ingresos por multas ambientales como:

$$M(\theta) = \gamma m z \lambda(\theta) = \frac{\gamma z c(x(\theta), \theta)}{(1-2z)}$$

$$(14) \quad M = \int_{\underline{\theta}}^{\bar{\theta}} \gamma z \frac{c(x(\theta), \theta)}{(1-2z)} f(\theta) d\theta$$

• En quinto, y último lugar, cuando no está activa la restricción de participación, el valor de los impuestos recaudados para cada tipo de empresa y el valor esperado de tal dinero pueden definirse sucesivamente como:

$$(15) \quad T(\theta) = \gamma(\theta) = \gamma \left(c(\underline{\theta}) + \int_{\underline{\theta}}^{\bar{\theta}} \frac{\partial c}{\partial \theta} f(\theta) d\theta \right)$$

$$T = \gamma \int_{\underline{\theta}}^{\bar{\theta}} \left(c(\underline{\theta}) - c(x(\theta), \theta) \frac{1-z}{1-2z} + \frac{1-F(\theta)}{f(\theta)} \frac{\partial c}{\partial \theta} \right) f(\theta) d\theta$$

Reuniendo todos los elementos anteriores, el objetivo de la agencia consiste en elegir la función de emisiones ($x(\theta)$), que haga mínimo el coste neto de la política ambiental. Este problema de elección pública puede escribirse como:

$$\begin{array}{l} \text{MIN} \\ x(\theta) \end{array} D + C + I - M - T$$

La condición de primer orden de la solución del problema de la contaminación óptima es:

$$(16) \quad \frac{\partial D}{\partial x} = -\frac{\partial c}{\partial x} - v \frac{\partial \lambda}{\partial x} - \frac{\partial c}{\partial x} \left[\gamma \left(\frac{v}{m(1-2z)} + 1 \right) \right] + \gamma \frac{1-F(\theta)}{f(\theta)} \frac{\partial^2 c}{\partial \theta \partial x}$$

Esta expresión es el principal resultado de este trabajo y define la mejor política ambiental practicable, dados los problemas tecnológicos e informacionales definidos en la segunda sección. Los instrumentos de política ambiental, impuestos y probabilidades de inspección, que permiten aplicar tal decisión se pueden obtener directamente a partir de tal nivel de emisiones definido implícitamente en la expresión (16).

Tal vez el mejor modo de interpretar la solución propuesta consiste en compararla con la *solución ideal* de primer óptimo, con información completa, costes de vigilancia nulos y tecnologías perfectas de inspección. En tal solución ideal el nivel, óptimo de emisiones se define como aquel para el que se consigue la igualdad entre el coste marginal de oportunidad de reducir las emisiones ($-\partial c / \partial x$) y el daño marginal de la contaminación que ésta produce. En otras palabras, el nivel ideal de emisiones se define como aquel para el que: $\partial D / \partial x = -\partial c / \partial x$. En la expresión (16) tenemos definida la política ambiental para una situación más próxima al mundo real. Además de daños y costes marginales, aparecen un conjunto de términos adicionales que reflejan todas las ineficiencias que resultan del marco institucional en el que ha de aplicarse la política ambiental.

Como puede observarse en el lado derecho de la expresión (16), el coste marginal de reducir las emisiones ($-\partial c / \partial x$) se debe corregir, a la baja, restando dos términos positivos y sumando uno negativo. Esto significa que, para hacer frente a los problemas técnicos y de información la agencia ambiental debe relajar los objetivos de la política ambiental.

Como el coste marginal de reducir las emisiones es creciente, reducir ese coste marginal equivale a permitir un mayor nivel de emisiones. Es decir, la Agencia ambiental tiene incentivos para permitir un elevado nivel de emisiones con el fin de reducir el coste de oportunidad de una política ambiental que exige la vigilancia de las empresas con una tecnología ambiental imperfecta. En cuanto mayor sea el nivel permitido de emisiones, menor será la necesidad de investigar las empresas (representado por la cobertura de vigilancia λ) y, en consecuencia, menor será el gasto público en vigilancia y control. Esto queda recogido en el segundo y el tercer término del lado derecho de la expresión (16).

Relajar los niveles de emisiones tiene otra ventaja adicional para el presupuesto público. Si son mayores las emisiones permitidas, mayores serán también los ingresos de la agencia ambiental en concepto de impuestos ambientales. Eso es precisamente lo que refleja el último término de la expresión (16). Si el gobierno utiliza la política ambiental con fines recaudatorios, y valora más el ingreso en sus manos que en manos de las empresas (lo que se refleja en un valor de γ positivo), tendrá también incentivos para relajar los objetivos de la política ambiental en beneficio de una mayor recaudación.

En suma, por los motivos mencionados arriba, los costes de transacción y los objetivos recaudatorios, los niveles de emisiones son mayores cuando se les compara con la solución ideal de primer óptimo.

Una consecuencia fundamental de la política ambiental óptima descrita por la expresión (16) es que ninguna de las restricciones impuestas por el marco institucional (tales como información asimétrica, sanciones máximas aplicables y auditorías ambientales caras e imperfectas), son suficientes para concluir que debemos resignarnos a renunciar a objetivos de calidad ambiental plenamente eficientes. Al contrario, la única condición necesaria y suficiente para que la política de primer óptimo no sea la mejor desde el punto de vista público es que el gobierno aprecie las ventajas recaudatorias de los impuestos y las sanciones ambientales. Si el gobierno aprecia más una unidad de ingreso en sus manos que en manos privadas, es decir, asigna un premio positivo

a las transferencias de ingreso a su favor ($\gamma > 0$), entonces preferirá una política de segundo óptimo.

Para demostrar lo anterior, supongamos un gobierno “benevolente” o “neutral respecto a la distribución del ingreso entre el sector público y el privado”. En nuestro modelo esto equivaldrá a un valor nulo de γ . Según la expresión (16), en ese caso, se obtendrá la solución de primer óptimo a pesar de los demás problemas que impone el marco institucional. Podría pensarse que, aunque el gobierno sea “benevolente” debería solamente preocuparse por mantener un presupuesto equilibrado. Sin embargo, en la situación más plausible, los ingresos vía multas e impuestos serán superiores a los gastos de aplicación de la política ambiental y, en consecuencia, difícilmente una política ambiental como la propuesta puede ser un factor que agrave el déficit público. En resumen, un gobierno “benevolente” obtendrá la siguiente política ambiental de primer óptimo, donde el daño marginal es igual a la suma del coste marginal privado de reducir las emisiones más el coste marginal público de vigilar a las empresas.

$$(16.a) \quad \frac{\partial D}{\partial x} = -\frac{\partial c}{\partial x} - v \frac{\partial \lambda}{\partial x}$$

Asumamos que el gobierno persigue también objetivos recaudatorios lo que se traduce en un valor de γ positivo, y estudiemos algunas posibles soluciones de segundo óptimo. En primer lugar, asumamos que la tecnología de vigilancia es perfecta ($z=0$) y que la empresa puede ser inspeccionada sin coste alguno ($v=0$). En esta situación simple todas las distorsiones provendrán exclusivamente de los objetivos recaudatorios de la Agencia. La política óptima implementable estará definida por:

$$(16.b) \quad \frac{\partial D}{\partial x} = -\frac{\partial c}{\partial x} [1 + \gamma] + \gamma \frac{1 - F(\theta)}{f(\theta)} \frac{\partial^2 c}{\partial \theta \partial x}$$

Esta solución no es otra que la del modelo básico de regulación con información asimétrica (Baron y Myerson (1982), Laffont (1992) y

Fudenberg y Tirole (1992)), que aparece aquí como un caso particular. Según esta solución, el regulador se preocupa por encontrar un compromiso entre dos objetivos contradictorios: por una parte, la búsqueda de la eficiencia económica (el primer término del lado derecho de la expresión (16.b)) y, por otra, la extracción de rentas de información privada a las empresas (el segundo término del lado derecho de (16.b)).

Otro caso interesante resulta de considerar que no existe información privada sobre los costes de oportunidad de reducir la contaminación en el ámbito de la empresa (el valor de θ es información pública). Aun así, persistirán los demás problemas y la solución de segundo óptimo se puede obtener como:

$$(16.c) \quad \frac{\partial D}{\partial x} = -\frac{\partial c}{\partial x} - v \frac{\partial \lambda}{\partial x} - \frac{\partial c}{\partial x} \left[\gamma \left(\frac{v}{\bar{m}(1-2z)} + 1 \right) \right]$$

Es evidente que cuando la Agencia tiene información completa, las rentas de información de las empresas y de la política ambiental desaparecen y el daño marginal de la contaminación, en la solución óptima, se acerca al valor del coste marginal. Debido al valor positivo de las transferencias a favor del sector público, el nivel de emisiones, sin embargo, sigue siendo mayor que el correspondiente a la solución ideal sin costes de transacción. Tal nivel de emisiones será mayor en cuanto menor sea la sanción máxima aplicable, más elevado sea el coste de inspección y más imperfecta sea la tecnología de vigilancia.¹³

Finalmente podemos retomar el caso, tal vez no tan particular, en que está activa la restricción de participación para el tipo de empresa menos eficiente (o aquella con el valor máximo de θ). Como tal tipo de empresa no puede ser enviada a la quiebra, será ella, y su coste máximo de reserva, la que defina el nivel máximo de impuestos que podrá

13 Un caso, aún menos general, con tecnología perfecta de vigilancia ($z=0$), permite obtener los resultados de Baron and Besanko (1984).

obtenerse mediante la política ambiental. Todos los demás tipos de empresa, de acuerdo con los resultados obtenidos, deberán contaminar menos y, por ello, pagar menos impuestos ambientales. Para encontrar la política ambiental óptima debemos utilizar la ecuación (13), para redefinir el valor de los impuestos esperados (algo similar a la ecuación (15)), y con ello reformular el problema de optimización de la Agencia. Después de realizar tales pasos obtendremos que, cuando está activa la restricción de participación, la política ambiental óptima estará definida por:

$$(16.d) \quad \frac{\partial D}{\partial x} = -\frac{\partial c}{\partial x} - v \frac{\partial \lambda}{\partial x} - \frac{\partial c}{\partial x} \left[\gamma \left(\frac{v}{m(1-2z)} + 1 \right) \right] + \gamma \frac{F(\theta)}{f(\theta)} \frac{\partial^2 c}{\partial \theta \partial x}$$

Todas las conclusiones mencionadas se aplican también a esta nueva situación. Lo único reseñable es el cambio en el valor de las rentas de información que la Agencia ambiental puede obtener de cada tipo de empresa. (i.e., el tercer término del lado derecho). Necesariamente, el valor esperado de estas rentas será inferior. Sin embargo, para cada tipo particular de empresa, la diferencia dependerá de la forma específica de la función de distribución $F(q)$. En este caso, toda la política ambiental (niveles de emisiones, impuestos, etc.) estará condicionada por el volumen de impuestos que la Agencia pueda obtener de la empresa menos eficiente. En la práctica, es muy posible que la empresa de tipo más contaminante no pueda pagar una factura elevada de impuestos sin ir a la quiebra, y, en situaciones plausibles, tales empresas suelen estar cerca o por debajo del umbral de rentabilidad. En este caso, respetar el *statu quo*, o el derecho a operar de las empresas existentes aunque sean poco eficientes en términos ambientales, y renunciar a cerrarlas o enviarlas a la quiebra, puede comprometer de un modo radical la posibilidad de basar la política ambiental en esquemas de incentivos como los aquí propuestos.

Podría pensarse que una alternativa a lo anterior consistiría en subsidiar algunas empresas (admitiendo impuestos ambientales negativos). Sin embargo, no debemos olvidar que la compatibilidad de

incentivos exige que las transferencias recibidas del tipo de empresa menos eficiente han de ser mayores que las de las empresas de mejor tipo. En consecuencia, si se subsidia a la empresa contaminante, deberá subsidiarse con una cantidad al menos igual a todas las demás; de otro modo se crearían incentivos que harían imposible la revelación honesta de la información privada así como la aplicación de la política ambiental vía impuestos, inspecciones y multas ambientales.

Conclusión

En los apartados anteriores presentamos un modelo general para definir la política ambiental cuando (i) el coste de reducir las emisiones en el ámbito de la empresa es una variable de riesgo moral, (ii) la auditoría ambiental no es gratuita, (iii) la tecnología de vigilancia ambiental es imperfecta, (iv) la credibilidad de la política ambiental, o el sistema legal, imponen un máximo para las sanciones financieras aplicables y (v) puede o no existir un coste máximo por encima del cual las empresas prefieren retirarse del mercado. Hemos demostrado que ninguno de esos problemas y restricciones del marco institucional impide la obtención de la solución de primer óptimo al problema de la contaminación ambiental a través de impuestos pigouvianos, probabilidades de inspección ambiental y aplicación de multas. Las soluciones de segundo óptimo sólo aparecen cuando el gobierno valora positivamente los ingresos que recauda a través de la política ambiental.

También hemos demostrado que, cuando el gobierno está movido por objetivos recaudatorios, las asimetrías de información, los costes de vigilancia, y los demás problemas mencionados llevarán a niveles más elevados de emisiones y, en consecuencia, a una peor calidad ambiental y a un mayor recaudo de impuestos ambientales. Si además de ello, es necesario respetar el *statu quo* y no es posible excluir del mercado a las empresas más contaminantes, esto nos alejará aún más de la solución de primer óptimo y, podría ser el caso que el objetivo de la política ambiental así definida consista en mantener las emisiones en un nivel muy próximo al de una economía sin regulación ambiental. Sólo en esos casos, las políticas de incentivos, como son los impuestos ambientales,

pueden producir resultados muy pobres en materia de calidad ambiental. Si, por el contrario, no se mezclan objetivos recaudatorios con los de eficiencia económica y el estado se permite la expulsión del mercado de las empresas más contaminadores, los impuestos ambientales siguen siendo una herramienta poderosa para resolver eficientemente los problemas de la contaminación ambiental.

Apéndice

En esta sección demostramos la siguiente proposición:

Condición necesaria de aplicabilidad de la política ambiental.

Una función de decisión $x(\theta)$ es incentivo-compatible, o implementable a través de un mecanismo de revelación, si y sólo si es no decreciente en θ .

Demostración:

La prueba se deriva directamente de las condiciones necesarias y suficientes que ha de cumplir la solución del problema de minimización de costes de la empresa.

- Como primer paso, para simplificar el razonamiento, definamos la siguiente función de transferencias esperadas de la empresa a la Agencia:

$$(A.1) \quad \zeta(\theta') = t(\theta') + \lambda(\theta')mz$$

- En segundo lugar, utilizando (A1), podemos definir el problema de decisión de la empresa tipo θ que debe elegir dentro del menú de contratos propuesto por la Agencia, y, de ese modo, anunciar o revelar que pertenece a un tipo θ . Este problema de minimización de costes se representa como:

$$(A.2) \quad \underset{\theta'}{\text{Min}} \phi(\theta, \theta') = \phi(x(\theta'), \zeta(\theta'), \theta)$$

- Cualquiera que sea el objetivo de la política ambiental, es necesario que la empresa resuelva el problema (A2) anunciando honestamente su tipo (es decir, que elijan $\theta' = \theta$). Las condiciones necesarias y suficien-

tes para que se produzca esta revelación honesta de la información privada son:

$$(A.3) \quad \left. \frac{\partial \phi}{\partial \theta} \right|_{(\theta, \theta)} = \frac{\partial \phi}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial \theta'} + \frac{\partial \phi}{\partial \zeta} \frac{\partial \zeta}{\partial \theta'} = 0$$

$$(A.4) \quad \left. \frac{\partial^2 \phi}{\partial \theta'^2} \right|_{(\theta, \theta)} > 0$$

• Podemos ahora deducir las condiciones necesarias y suficientes para que una función de decisión sea implementable, del siguiente modo:

- En primer lugar, diferenciamos completamente la condición (A3) y obtenemos:

$$(A.5) \quad \left. \frac{\partial \phi^2}{\partial \theta'^2} \right|_{(\theta, \theta)} = - \left. \frac{\partial^2 \phi}{\partial \theta' \partial \theta} \right|_{(\theta, \theta)}$$

Con lo que es posible representar la condición de segundo orden (la ecuación (A4)) como:

$$(A.6) \quad \left. \frac{\partial \phi^2}{\partial \theta'^2} \right|_{(\theta, \theta)} = \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\frac{\partial \phi}{\partial x} \right) \frac{\partial x}{\partial \theta'} + \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\frac{\partial \phi}{\partial \zeta} \right) \frac{\partial \zeta}{\partial \theta'}$$

Utilizando la condición de primer orden del problema de optimización (la ecuación (A3)) podemos decir que la función de transferencias esperadas debe cumplir la siguiente condición necesaria:

$$(A.7) \quad \frac{\partial \zeta}{\partial \theta'} = - \frac{\frac{\partial \phi}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial \theta}}{\frac{\partial \phi}{\partial \zeta}}$$

Y, finalmente, si introducimos la expresión anterior en la condición de segundo orden representada en [A.6], después de agrupar términos obtendremos la siguiente expresión que también representa la condición de segundo orden de la solución del problema de minimización de costes de la empresa, con revelación honesta de la información privada:

$$(A.8) \quad \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\frac{\frac{\partial \phi}{\partial x}}{\frac{\partial \phi}{\partial \zeta}} \right) \frac{\partial x}{\partial \theta} < 0$$

Según este último resultado, la política ambiental es incentivo-compatible, o conduce a la revelación honesta de la información privada, si la función de decisión ($x(\theta)$), o perfil de emisiones, y la relación marginal de sustitución entre las emisiones de la empresa (x) y el pago esperado a la Agencia ambiental (ζ) varían de un modo sistemático con el tipo de empresa (θ). Como el coste esperado de la empresa es menor en cuanto mayor sea el nivel de emisiones y más elevado en cuanto mayores sean los impuestos y demás pagos a la Agencia, podemos deducir que, para que se cumpla la condición (A8) es absolutamente necesario que la función de emisiones $x(\theta)$ sea no decreciente en el tipo de empresa.

Referencias

BARON, D. y BESANKO, D. (1984), "Regulation, Asymmetric Information and Auditing". *Rand Journal of Economics*, No. 15, p. 447-470.

BARON, D. y MYERSON, R. (1982), "Regulating a Monopolist with Unknown Cost", *Econometrica*, No. 50, p. 911-930.

BAUMOL, W. y OATES, W. (1988), *The Theory of Environmental Policy*, Cambridge, Cambridge University Press.

BESANKO, D. y SAPPINGTON, D. (1987), *Designing Regulatory Policy with Limited Information*, Hardwood.

DASGUPTA, P. HAMMOND, P. y MASKIN, E. (1980), "On Imperfect Information and Optimal Pollution Control", *Review of Economic Studies*.

- FUDENBERG, D. y TIROLE, J. (1991), *Game Theory*, MIT Press.
- GIBBARD, A. (1973), "Manipulation of voting schemes", *Econometrica*, No.41, p. 587-601.
- GOVINDASAMY, R. HERRIGUES, J. Y SHOGREN, J. (1994), "Non-Point Tournaments", En: Dosi, C. y Tomasi, T. *Non-Point Source Pollution Regulation: Issues and Analysis*. Kluwer Academic Publishers, p. 87-105.
- GREEN, J. y LAFFONT, J. J. (1977), "Characterisation of Satisfactory Mechanisms for the Revelation of Preferences for Public Goods", *Econometrica*, No. 45, p. 427-438.
- GUESNERIE, R. y LAFFONT, J. J. (1984), "A Complete Solution to a Class of principal Agent Problems With an Application to the Control of a Self Managed Firm". *Journal of Public Economics*, No. 25, p. 329-369.
- HARFORD, J. (1987), "Self-Reporting of Pollution and the Firm Behaviour Under Imperfect Enforceable Regulation". *Journal of Environmental Economics and Management*, No. 14, p. 293-303.
- HARRINGTON, W. (1988), "Enforcement Leverage when penalties are restricted". *Journal of Public Economics*, No. 37, p. 29-53.
- LAFFONT, J. J. y TIROLE, J. (1992), *A Theory of Incentives in Procurement and Regulation*, MIT Press.
- MALIK, A. (1993), "Self-Reporting and the Design of Policies for Regulating Stochastic Pollution", *Journal of Environmental Economics and Management*, No. 24, p. 241-257.
- MARTIN, L. (1984), "The optimal magnitude and enforcement of evadable Piguovian charges", *Journal of Public Finance*, No. 39, p. 347-358.
- MIRRELES, J. (1971), "An exploration in the Theory of Optimal Taxation", *Review of Economic Studies*, No. 38, p. 175-208.
- MYERSON, (1979), "Incentive compatibility and the bargaining problem", *Econometrica*, No. 47, p. 61-63.
- NICHOLS, A. (1984), *Targeting Economic Incentives for Environmental Protection*, MIT Press.
- OPSCHOOR, J. B. y TURNER, R. K. (Eds.) (1993), *Environmental Economic and Policy Instruments: Principles and Practice*, Kluwer.
- RUSSELL, S. (1990), "Monitoring and Enforcement", En: *Public Policies for Environmental Protection*. Resources for the Future.

RUSSELL, C.S. HARRINGTON, W. y VAUGHAN, W.J. (1986), *Enforcing Pollution Control Laws*. Resource for the Future.

SPULBER (1988), "Optimal environmental regulation under asymmetric information". *Journal of Public Economics*, No. 35, p. 163-181.

SWIERZBINSKI, J. (1994), "Guilty until Proven Innocent: Regulation with Costly and Limited Enforcement", *Journal of Environmental Economics and Management*, No. 27, p. 127-146.

TIETENBERG, T. (1992), *Environmental and Natural Resource Economics*, Harper Collins.

XEPAPADEAS, A (1991), Environmental Policy Under Imperfect Information: Incentives and Moral Hazard, *Journal of Environmental Economics and Management*, No. 20, p. 113-126.