

## «Empresas públicas y privadas e impuestos medioambientales»

En muchos de los mercados de productos que observamos en la realidad encontramos empresas públicas que compiten con empresas privadas. En la mayoría de los casos, el proceso productivo, tanto de las empresas públicas como el de las privadas, contamina el medio ambiente. No obstante, la literatura que estudia los problemas medioambientales se centra en industrias en las que únicamente hay empresas privadas, mientras que la literatura que analiza la coexistencia de empresas públicas y privadas no tiene en cuenta que el proceso productivo de las empresas contamina el medio ambiente. Por lo tanto, el objetivo de este artículo es ligar ambas literaturas, analizando cómo la existencia de empresas públicas que compiten con las empresas privadas en los mercados afecta al impuesto medioambiental que establece el gobierno y, por lo tanto, al daño medioambiental que sufre un país.

*Ekoizkinen merkatu askotan, egunero ikusten ditugu enpresa publikoak enpresa pribatuekin lehian. Gehienetan, ekoizteko prozesuak, hala enpresa publikoenak nola enpresa pribatuenak, ingurumena kutsatzen du. Hala ere, ingurumeneko arazoak aztertzen dituen literaturak enpresa pribatuez bakarrik osatutako industrietan jarri du arreta eta enpresa publikoak eta pribatuak aldi berean aztertzen dituen literaturak ez du kontuan hartzen enpresen ekoizpenak ingurumena kutsatzen duela. Hori dela eta, artikulu honen helburua bi literatura horiek lotzea da eta merkatuetan enpresa pribatuekin lehian dauden enpresa publikoak egoteak gobernuak ezartzen duen ingurumen zergan eta, horren ondorioz, herrialdeak pairatzen duen ingurumen kaltean, nolako eragina duen aztertzea da.*

Many product markets include public sector companies that compete with the private sector. In general, the production processes of both publicly and privately-owned companies tend to pollute the environment. However, most texts that examine environmental problems centre exclusively on industries containing private companies, whereas those that analyse the co-existence of public and private companies do not address the question of environmental pollution. This article sets out to draw a link between the two sets of literature, and analyses the way in which the presence of public companies alongside private ones in a given market affects the environmental tax set by the government and, thus, the environmental damage suffered by a country.

## ÍNDICE

1. Introducción
  2. Modelo
  3. Resultados
  4. *N* Empresas privadas
  5. Conclusiones
- Referencias bibliográficas

Palabras clave: Empresa pública, empresa privada, impuestos medioambientales, política medioambiental.  
Clasificación JEL: Q2, H3

### 1. INTRODUCCIÓN

La observación de los distintos mercados en los que compiten las empresas muestra que, en muchos de ellos, coexisten empresas públicas y privadas. En la mayoría de los casos, el proceso productivo, tanto de las empresas públicas como el de las privadas, genera daño medioambiental. Sin embargo, la literatura que estudia el medio ambiente se ha centrado en industrias en las que únicamente hay empresas privadas (véase, por ejemplo, Barret, 1994; Markusen *et al*, 1995, 1997; Ulph, 1996).

La coexistencia de empresas públicas y privadas en los mercados es el objeto de estudio de la literatura sobre oligopolio mixto (véase De Fraja y Delbono, 1989,

1990; Barros, 1995; Matsumura, 1998; Bárcena-Ruiz y Garzón, 2001a). Sin embargo, esta literatura no considera explícitamente que las empresas contaminan el medio ambiente y, por lo tanto, no tiene en cuenta cómo afecta la política medioambiental elegida por el gobierno a las decisiones que toman las empresas, tanto públicas como privadas.

El objetivo de este artículo es ligar ambas literaturas, analizando cómo la existencia de empresas públicas que compiten con empresas privadas en los mercados afecta a la política medioambiental del gobierno y, por lo tanto, al daño medioambiental que sufren los países. El único artículo, que conozcamos, que liga estas dos literaturas es el de Bárcena-Ruiz y Garzón (2001b), aunque su objetivo es estudiar la privatización de las

\* Queremos agradecer la financiación de la UPV-EHU (HB-8238/2000).

empresas públicas cuando las empresas contaminan el medio ambiente. Para realizar este análisis suponen que el gobierno establece un estándar medioambiental que fija la máxima cantidad total de contaminación que puede emitir cada una de las empresas.

En este artículo suponemos que el gobierno establece un impuesto medioambiental por unidad de contaminación emitida para controlar el daño medioambiental generado por el proceso productivo, cuando existe una empresa pública que compite con varias empresas privadas en el mercado. Este impuesto no tiene fines recaudatorios, sino que tiene como objetivo que las empresas privadas tengan en cuenta el daño medioambiental que generan. Para estudiar cuál es el impuesto medioambiental óptimo que establece el gobierno, así como el daño medioambiental generado por el proceso productivo de las empresas, extendemos el modelo de Ulph (1996) de la siguiente manera. Primero, consideramos que existen  $n$  empresas privadas y una empresa pública cuyos procesos productivos contaminan el medio ambiente, caso al que nos referiremos como oligopolio mixto. Segundo, las empresas públicas y privadas pueden generar diferente nivel de emisiones por unidad producida.

En este contexto analizamos la política óptima del gobierno, así como el daño medioambiental generado por el proceso productivo de las empresas. Posteriormente, compararemos estos resultados con los obtenidos cuando todas las empresas son privadas, caso al que nos referiremos como oligopolio privado. Hay

que señalar que la empresa pública es más agresiva en el mercado de producto que cualquiera de las  $n$  empresas privadas ya que la función objetivo de la empresa pública es el bienestar social (es decir, tiene en cuenta el excedente de los consumidores) mientras que la función objetivo de una empresa privada es su propio beneficio.

Consideramos inicialmente el caso de una empresa privada y una pública (duopolio mixto), y que ambas empresas pueden generar diferente nivel de emisiones por unidad de producto. Obtenemos que el impuesto medioambiental es mayor en el duopolio mixto que en el privado si y sólo si el nivel de emisiones de la empresa pública es suficientemente mayor que el de la empresa privada. Por otro lado, el daño medioambiental es menor en el duopolio mixto que en el privado si el nivel de emisiones de la empresa pública es suficientemente pequeño en relación al de la privada. Este último resultado se debe a que la empresa pública produce más que la privada, por lo que genera mayor nivel total de emisiones. Por ello, para que en el duopolio mixto se genere menor daño medioambiental que en el privado, el nivel de emisiones de la empresa pública debe ser suficientemente pequeño en relación al de la privada.

Cuando consideramos que existe más de una empresa privada y que las empresas privadas generan el mismo nivel de emisiones por unidad producida que la empresa pública, obtenemos que el impuesto medioambiental es mayor en el oligopolio privado mientras que el daño

medioambiental es mayor en el oligopolio mixto. El motivo de este resultado es que mientras que la empresa pública tiene en cuenta el daño medioambiental que genera (ya que su función objetivo es el bienestar social) las empresas privadas no lo tienen en cuenta. Por lo tanto, el gobierno tiene que establecer un impuesto medioambiental mayor en el oligopolio privado. Como resultado, éstas generarán menores emisiones totales, por lo que el daño medioambiental será menor.

El artículo está organizado de la siguiente manera. La sección 2 presenta el modelo. La sección 3 presenta y compara los resultados obtenidos en los duopolios mixto y privado. La sección 4 extiende el análisis al caso de  $n$  empresas privadas y finalmente, la sección 5 recoge las principales conclusiones.

## 2. MODELO

Consideramos un país en el que existe una industria formada por dos empresas, 0 y 1, que producen un bien homogéneo. Vamos a considerar dos situaciones posibles respecto a la propiedad de las empresas. La primera es aquella en que las dos empresas son privadas, por lo que hay un duopolio privado. La segunda es aquella en que una empresa es privada y la otra pública, por lo que hay un duopolio mixto. En este último caso suponemos que la empresa pública es la 0 mientras que la privada es la 1.

La función inversa de demanda para el producto homogéneo es lineal y viene dada por:

$$p = A - q_0 - q_1, A > 0,$$

donde  $p$  es el precio del bien y  $q_i$  es la cantidad del bien producida por la empresa  $i$ ,  $i=0, 1$ .

Suponemos que las empresas tienen idéntica tecnología de producción, representada por la siguiente función de costes cuadrática:<sup>1</sup>

$$C(q_i) = F + \frac{1}{2}q_i^2, i = 0, 1,$$

donde  $F=0$  sin pérdida de generalidad, ya que no consideramos problemas de entrada de nuevas empresas.

La observación del mundo real muestra que el proceso productivo, tanto de las empresas públicas como de las privadas, contamina el medio ambiente. Por ello, consideramos que cada unidad de bien producida por la empresa  $i$  genera  $\gamma_i$  unidades de contaminación. Suponemos, sin pérdida de generalidad, que  $\gamma_1 = 1$  mientras que  $\gamma_0$  es tal que  $0.5 < \gamma_0 < 1.5$ .<sup>2</sup> En este sentido, estamos considerando que la empresa pública puede contaminar más ( $\gamma_0 > 1$ ) o menos ( $\gamma_0 < 1$ ) por unidad de producto que la empresa privada. Ambos supuestos son razonables, ya que muchas empresas públicas de los países occidentales disponen de tecnologías

<sup>1</sup> Suponemos costes de producción cuadráticos ya que si el coste marginal fuese constante e igual para ambas empresas, la empresa pública fijaría precio igual al coste marginal, y así la empresa privada no produciría (véase De Fraja y Delbono, 1989).

<sup>2</sup> En este artículo extendemos el modelo de Ulph (1996) considerando que  $\gamma_0 \neq 1$  y que existen una empresa pública y una privada en vez de dos empresas privadas.

avanzadas. Sin embargo, también hay empresas públicas que a pesar de estar quedándose obsoletas en su tecnología siguen produciendo.

Los dos productores disponen de tecnología para reducir su contaminación, y esta tecnología es la misma para las dos empresas. Si la empresa  $i$  elige el nivel de producción  $q_i$  y el nivel de reducción de la contaminación  $a_i$ , las emisiones de contaminación netas de la empresa  $i$  son:  $\gamma_i q_i - a_i$ . Como es habitual en la literatura suponemos que el coste total de reducir la contaminación para la empresa  $i$  es:

$$CA_i = \frac{1}{2} a_i^2, i = 0, 1.$$

Esta función refleja el hecho de que cuanto mayor es el nivel de reducción de la contaminación de una empresa, mayor es el esfuerzo que la empresa tiene que hacer para reducir la contaminación en una unidad adicional; es decir, cada unidad de contaminación que se reduce cuesta más que la anterior.

Para controlar el daño medioambiental generado por el proceso productivo suponemos que el gobierno establece un impuesto  $t$  por unidad de contaminación neta emitida; este impuesto es el mismo para las dos empresas de la industria. Este impuesto no tiene fines recaudatorios, sino que tiene como objetivo que las empresas privadas tengan en cuenta el daño medioambiental que generan. Por lo tanto, la función de beneficio de la empresa  $i$  es:

$$\pi_i = (A - q_i - q_j)q_i - \frac{1}{2} q_i^2 - t(\gamma_i q_i - a_i) - \frac{1}{2} a_i^2, i, j = 0, 1; i \neq j.$$

La función de bienestar social considerada por el gobierno está formada por el excedente de los consumidores,  $EC$ , el excedente de los productores,  $EP$ , la recaudación impositiva obtenida por el gobierno,  $T$ , y el daño medioambiental generado por el proceso productivo,  $DM$ . Por lo tanto, la función de bienestar social puede expresarse de la siguiente manera:

$$W = EC + EP + T - DM.$$

Como es habitual, el excedente de los productores viene dado por la suma de los beneficios de las empresas:  $EP = \pi_0 + \pi_1$ , y el excedente de los consumidores por:  $EC = (q_0 + q_1)^2/2$ . Cada empresa tiene que pagar un impuesto medioambiental  $t$  por unidad de contaminación neta emitida, por lo que la recaudación impositiva del gobierno es:

$$T = t(\gamma_0 q_0 - a_0 + q_1 - a_1).$$

Utilizamos una forma funcional cuadrática para medir el daño medioambiental generado en el país por la actividad productiva de las dos empresas:

$$DM = \frac{1}{2}(\gamma_0 q_0 - a_0 + q_1 - a_1)^2.$$

Por ejemplo, el daño que las emisiones de las empresas productoras de pasta de papel causan sobre los ríos queda recogido por una función de daño medioambiental de este tipo. Esta función de daño medioambiental es utilizada habitualmente en la literatura y supone que el daño medioambiental es una función convexa del nivel total de contaminación y es exógena para los consumidores. Véase, por

ejemplo, Falk y Mendelsohn (1993), van der Ploeg y Zeeuw (1992) y Ulph (1996).

El objetivo de este trabajo es estudiar cómo las diferentes estructuras del mercado afectan a la elección del impuesto medioambiental por parte del gobierno y, por tanto, al daño medioambiental. Por ello, proponemos un juego en dos etapas con la siguiente periodicidad. En la primera etapa, el gobierno elige el impuesto por unidad de contaminación neta emitida.<sup>3</sup> En la segunda etapa, cada empresa elige sus niveles de producción y de reducción de la contaminación. Vamos a resolver este juego para el caso del duopolio mixto y para el caso del duopolio privado con el objetivo de, posteriormente, comparar los resultados obtenidos en ambos casos. El concepto de equilibrio utilizado es el equilibrio de Nash perfecto en subjuegos, resuelto por inducción hacia atrás.

### 3. RESULTADOS

Como ya hemos comentado, existen dos posibles casos a analizar: un duopolio mixto (denotado por el superíndice  $M$ ) y un duopolio privado (denotado por el superíndice  $P$ ). Comenzamos estudiando el primero de ellos.

<sup>3</sup> Si el gobierno establece un tipo impositivo diferente para cada empresa, en equilibrio, el impuesto que le fija a la empresa privada es independiente del que establece para la pública. Además, este impuesto es el mismo que cuando se elige un único impuesto medioambiental. Este resultado se debe a que, en la tercera etapa, la empresa pública elige el nivel de producción que maximiza el bienestar social, el cual no depende del impuesto que establece el gobierno para la empresa pública.

#### 3.1. Duopolio mixto

En la segunda etapa, dado el impuesto medioambiental  $t$ , la empresa privada elige el nivel de producción,  $q_1$ , y el nivel en que reduce la contaminación,  $a_1$ , que maximizan su función de beneficio; la empresa pública elige el nivel de producción,  $q_0$ , y el nivel en que reduce la contaminación,  $a_0$ , que maximizan el bienestar social. Resolviendo estos problemas simultáneamente, obtenemos que:

$$\begin{aligned} q_0 &= \frac{A(4-\gamma_0)+2t(1+2\gamma_0)}{10-\gamma_0+3\gamma_0^2}, \\ a_0 &= \frac{A(1+2\gamma_0) + t(\gamma_0-7)}{10-\gamma_0+3\gamma_0^2}, \\ q_1 &= \frac{A(2-\gamma_0^2)-t(4+\gamma_0+\gamma_0^2)}{10-\gamma_0+3\gamma_0^2}, \quad a_1 = t. \end{aligned} \quad (1)$$

Es fácil comprobar que  $\partial q_0/\partial t > 0$ ,  $\partial q_1/\partial t < 0$ ,  $\partial a_0/\partial t < 0$  y  $\partial a_1/\partial t > 0$ . La empresa privada reduce su nivel de producción al aumentar el impuesto ya que su coste por unidad producida aumenta con el impuesto medioambiental. Por otro lado, la función de bienestar social no depende del impuesto ya que el impuesto total que paga cada empresa es recaudado por el gobierno, por lo que estos dos términos se cancelan en la función de bienestar social. Además, hay que tener en cuenta que la empresa pública es muy agresiva en el mercado de producto ya que al maximizar bienestar social tiene en cuenta el excedente de los consumidores. Como resultado, dado que el nivel de producción de la

empresa privada decrece con el impuesto el de la empresa pública crece con el impuesto.

La expresión (1) muestra que la empresa privada reduce su contaminación hasta que el coste marginal de reducir la contaminación es igual al impuesto por unidad de contaminación neta emitida (véase Ulph, 1996). Por otro lado, la empresa pública reduce su contaminación hasta que el coste marginal de reducir la contaminación es igual al daño medioambiental marginal.

En la primera etapa del juego, el gobierno elige el impuesto por unidad de contaminación emitida que maximiza el bienestar social. Resolviendo este problema obtenemos el siguiente resultado.

**Lema 1.** Cuando la estructura de mercado es un duopolio mixto, en equilibrio, el impuesto medioambiental, los niveles de reducción de la contaminación y la producción de las empresas, el beneficio de las empresas, el daño medioambiental, el excedente de los consumidores y el bienestar social son, respectivamente:

$$t^M = a_1^M = \frac{A(6+26\gamma_0-2\gamma_0^2+7\gamma_0^3-\gamma_0^4)}{222-36\gamma_0+101\gamma_0^2-10\gamma_0^3+11\gamma_0^4},$$

$$a_0^M = \frac{A(18+25\gamma_0+4\gamma_0^2+7\gamma_0^3)}{222-36\gamma_0+101\gamma_0^2-10\gamma_0^3+11\gamma_0^4},$$

$$q_1^M = \frac{2A(21-7\gamma_0+13\gamma_0^2-2\gamma_0^3+2\gamma_0^4)}{222-36\gamma_0+101\gamma_0^2-10\gamma_0^3+11\gamma_0^4},$$

$$q_0^M = \frac{5A(18-4\gamma_0+5\gamma_0^2-\gamma_0^3)}{222-36\gamma_0+101\gamma_0^2-10\gamma_0^3+11\gamma_0^4},$$

$$\pi_0^M = \frac{A^2(7992-1104\gamma_0+4747\gamma_0^2-188\gamma_0^3+711\gamma_0^4+162\gamma_0^5-34\gamma_0^6+36\gamma_0^7-10\gamma_0^8)}{2(222-36\gamma_0+101\gamma_0^2-10\gamma_0^3+11\gamma_0^4)^2},$$

$$\pi_1^M = \frac{A^2(5328-3216\gamma_0+7792\gamma_0^2-3212\gamma_0^3+3728\gamma_0^4-1040\gamma_0^5+725\gamma_0^6-110\gamma_0^7+49\gamma_0^8)}{2(222-36\gamma_0+101\gamma_0^2-10\gamma_0^3+11\gamma_0^4)^2},$$

$$DM^M = \frac{A^2(18+25\gamma_0+4\gamma_0^2+7\gamma_0^3)^2}{2(222-36\gamma_0+101\gamma_0^2-10\gamma_0^3+11\gamma_0^4)^2},$$

$$EC^M = \frac{A^2(132-34\gamma_0+51\gamma_0^2-9\gamma_0^3+4\gamma_0^4)^2}{2(222-36\gamma_0+101\gamma_0^2-10\gamma_0^3+11\gamma_0^4)^2},$$

$$W^M = \frac{A^2(138-36\gamma_0+56\gamma_0^2-10\gamma_0^3+5\gamma_0^4)}{2(222-36\gamma_0+101\gamma_0^2-10\gamma_0^3+11\gamma_0^4)}.$$

A partir del lema 1 se puede comprobar que el nivel de producción de la empresa pública decrece con  $\gamma_0$  ( $\partial q_0^M/\partial\gamma_0 < 0$ ) mientras que el de la empresa privada crece con  $\gamma_0$  ( $\partial q_1^M/\partial\gamma_0 > 0$ ). Si el nivel de emisiones por unidad de producto de la empresa pública aumenta, ésta reducirá su nivel de producción. Dado que la empresa pública reduce su producción, la empresa privada reaccionará aumentando la suya. Además, puesto que la empresa pública produce más que la privada,  $a_0^M$  es mayor que  $a_1^M$ .

El gobierno fijará un impuesto mayor cuanto mayores sean las emisiones de la empresa pública ( $\partial t^M/\partial\gamma_0 > 0$ ). El motivo es que como el nivel de producción de la empresa privada crece con  $\gamma_0$  el gobierno tendrá que fijar un impuesto mayor para que ésta reduzca sus emisiones. Hay que tener en cuenta que el gobierno elige el impuesto para que la empresa privada tenga en cuenta el daño medioambiental que genera. Sin embargo, el impuesto no tiene como objetivo que la empresa pública tenga en cuenta el daño medioam-



biental que genera; ésta ya lo tiene en cuenta ya que su función objetivo es el bienestar social.

Se puede comprobar que el nivel de emisiones netas de la empresa pública crece con  $\gamma_0$  ( $\partial(\gamma_0 q_0^M - a_0^M) / \partial \gamma_0 > 0$ ). Por ello, dado que la empresa pública produce más que la privada, el daño medioambiental crece con  $\gamma_0$  ( $\partial DM^M / \partial \gamma_0 > 0$ ).

*El bienestar social decrece con  $\gamma_0$  ( $\partial W^M / \partial \gamma_0 < 0$ ) ya que si este parámetro aumenta, el nivel de producción de la empresa pública disminuye y, como la empresa pública produce más que la privada, el excedente de los consumidores también disminuye; por otro lado, el daño medioambiental crece con  $\gamma_0$ . Dado el fuerte peso del excedente de los consumidores en la función de bienestar social, éste decrece con  $\gamma_0$ .*

### 3.2. Duopolio Privado

Cuando la estructura de mercado es un duopolio privado, cada unidad de bien producida en cualquiera de las dos empresas genera una unidad de contaminación; es decir,  $\gamma_i = 1, i = 0, 1$ . En la segunda etapa, para un impuesto medioambiental dado, la empresa  $i$  elige el nivel de producción,  $q_i$ , que maximiza su función de beneficio. Resolviendo estos problemas simultáneamente, obtenemos que:

$$q_i = \frac{A-t}{4}, a_i = t, i = 0, 1.$$

En la primera etapa del juego, el gobierno elige el impuesto medioambiental que maximiza el bienestar social.

Resolviendo este problema obtenemos el siguiente resultado.

**Lema 2.** Cuando la estructura de mercado es un duopolio privado, en equilibrio, el impuesto medioambiental, el nivel de reducción de la contaminación, el nivel de producción, el beneficio de las empresas, el daño medioambiental, el excedente de los consumidores y el bienestar social son, respectivamente:

$$p = a_0^p = a_1^p = \frac{3A}{23},$$

$$q_0^p = q_1^p = \frac{5A}{23},$$

$$\pi_0^p = \pi_1^p = \frac{42A^2}{529},$$

$$DM^p = \frac{8A^2}{529}, EC^p = \frac{50A^2}{529},$$

$$W^p = \frac{6A^2}{23}.$$

Como podemos observar, los niveles de equilibrio de las variables no dependen de  $\gamma_0$  ya que en este caso no hay empresa pública.

### 3.3. Comparación de los resultados

En esta sección vamos a comparar los resultados obtenidos en los duopolios mixto y privado. Para ello, en primer lugar vamos a comparar los niveles de producción y el excedente de los consumidores.

**Proposición 1.** En equilibrio:

$$q_0^M > q_0^P = q_1^P > q_1^M, q_0^M + q_1^M > q_0^P + q_1^P \text{ y } EC^M > EC^P.$$



Comparando los niveles de producción de equilibrio obtenidos en los duopolios mixto y privados, obtenemos que  $q_0^M > q_0^P = q_1^P > q_1^M$  y  $q_0^M + q_1^M > q_0^P + q_1^P$ . Este es el resultado habitual obtenido en la literatura sobre oligopolio mixto (véase De Fraja y Delbono, 1989, 1990). Dado que la empresa pública elige el nivel de producción que maximiza bienestar social, es más agresiva en el mercado de producto que las privadas (tanto del duopolio mixto como del privado). Como resultado, el nivel de producción más alto es el de la empresa pública, el nivel de producción más bajo es el de la empresa privada del duopolio mixto, y la producción de la industria es mayor en el duopolio mixto que en el privado. Obtenemos este resultado a pesar de que la función de costes de reducir emisiones es convexa, lo que implica que la empresa pública tiene un mayor coste total de reducir emisiones (ya que  $a_0^M$  es mayor que  $a_1^M$ ).

En equilibrio el excedente de los consumidores se puede reescribir como:

$$EC^i = \frac{1}{2} (q_0^i + q_1^i)^2, \quad i=M,P.$$

Por lo tanto, dado que la producción de la industria es mayor en el duopolio mixto que en el privado, el excedente de los consumidores es también mayor en el primer caso.

Una vez comparados los niveles de producción y el excedente de los consumidores vamos a comparar el excedente de los productores.

**Proposición 2.** En equilibrio, el excedente de los productores es mayor en el duopolio privado que en el mixto:

$$\pi_1^P + \pi_0^P > \pi_1^M + \pi_0^M.$$

Como es habitual en la literatura sobre oligopolio mixto (véase De Fraja y Delbono, 1989, 1990), el beneficio de la industria es mayor en duopolio privado que en el mixto. Este resultado se debe a dos efectos que van en la misma dirección. Primero, la empresa pública es más agresiva en el mercado de producto que las privadas, por lo que la competencia en el mercado de producto es mayor cuando hay un duopolio mixto. Segundo, dado que el nivel de producción de la empresa pública es el mayor, su coste total de reducir emisiones es también el mayor. Este resultado se obtiene a pesar de que la empresa pública tiene un coste total de producción mayor que la privada puesto que su producción es mayor.

A continuación vamos a comparar el impuesto medioambiental fijado por el gobierno, en los duopolios mixto y privado. De este modo veremos en qué estructura de mercado el gobierno fija mayores impuestos medioambientales.

**Proposición 3.** En equilibrio, el impuesto medioambiental es mayor en el duopolio mixto que en el privado si y sólo si  $\gamma_0 > 1.1043$ .

El resultado obtenido en la proposición 3 depende de las emisiones por unidad de producto de la empresa pública,  $\gamma_0$ . Aunque el impuesto que fija el gobierno a las empresas del duopolio privado,  $t^P$ , no

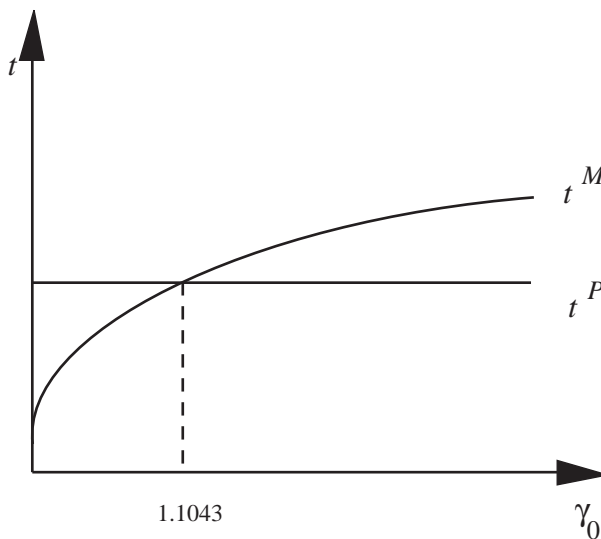
depende de las emisiones por unidad de producto de la empresa pública, el impuesto que fija a las empresas del duopolio mixto,  $t^M$ , crece con  $\gamma_0$ . Como muestra la Gráfico nº1, si  $\gamma_0$  es suficientemente pequeño ( $\gamma_0 < 1.1043$ ) se obtiene que  $t^M < t^P$ ; por el contrario, si  $\gamma_0$  es suficientemente grande ( $\gamma_0 \geq 1.1043$ ) tenemos que  $t^M \geq t^P$ . Por lo tanto, únicamente si el nivel de emisiones por unidad de producto de la empresa pública es suficientemente alto, el impuesto medioambiental fijado por el gobierno para las empresas del duopolio mixto es mayor que el fijado para las empresas del duopolio privado.

Como hemos visto en la proposición 1, el nivel de producción de cada empresa

privada del duopolio privado siempre es mayor que el de la empresa privada del duopolio mixto. Por otro lado, los lemas 1 y 2 muestran que las empresas privadas, tanto en el duopolio mixto como en el privado, reducen sus niveles de contaminación en la cuantía del impuesto. Por lo tanto, esto llevaría a pensar que el impuesto que fijaría el gobierno a las empresas del duopolio privado tendría que ser mayor que el que fijaría a las empresas del duopolio mixto. Sin embargo, si la empresa pública tiene un nivel de emisiones por unidad de producto suficientemente alto, se da el resultado contrario ( $t^M > t^P$ ).

Este último resultado se debe a que, a diferencia del duopolio privado, en el

Gráfico nº1: **Comparación de los impuestos óptimos**



duopolio mixto existe una empresa pública, lo cual afecta a los distintos componentes de la función de bienestar social y, por lo tanto, al impuesto que fija el gobierno. Cuando  $\gamma_0$  aumenta, el nivel de producción de la empresa pública disminuye, lo que hace que el nivel de producción de la empresa privada aumente. Dado que en el duopolio mixto la empresa pública produce más que la privada, el nivel de producción de la industria y, por lo tanto, el excedente de los consumidores disminuye al aumentar  $\gamma_0$ . Como resultado, puesto que el excedente de los consumidores tiene un peso fuerte en la función de bienestar social, cuando  $\gamma_0$  es suficientemente grande, el gobierno fijará un impuesto mayor a las empresas del duopolio mixto que a las del duopolio privado. De este modo, aumenta el nivel de producción de la empresa pública y por consiguiente aumenta el excedente de los consumidores y el bienestar social en el duopolio mixto.

A continuación vamos a comparar el daño medioambiental causado por el proceso productivo en los duopolios mixto y privado.

**Proposición 4.** En equilibrio, el daño medioambiental es menor en el duopolio mixto que en el duopolio privado si y sólo si  $\gamma_0 < 0.8263$ .

Como hemos visto en el lema 1, el daño medioambiental generado por el proceso productivo de las empresas del duopolio mixto crece con  $\gamma_0$ . Por el contrario, el daño medioambiental generado por el proceso productivo de las empresas del duopolio

privado no depende de  $\gamma_0$ . Cuando  $\gamma_0$  es pequeño ( $\gamma_0 < 0.8263$ ) las emisiones por unidad de producto de la empresa pública son pequeñas en comparación con las de las privadas, por lo que las emisiones netas de la empresa pública son menores que las emisiones netas de cada empresa privada del duopolio privado. Como resultado, si  $\gamma_0$  es pequeño el daño medioambiental en el duopolio mixto es menor que en el privado. Si  $\gamma_0$  es grande ( $\gamma_0 \geq 0.8263$ ), aunque la empresa pública puede emitir menos por unidad de producto que la privada, el daño medioambiental en el duopolio mixto es mayor que en el privado dado que la empresa pública produce más que las privadas.

El análisis considerado en esta sección puede ampliarse para considerar  $n$  empresas privadas, situación habitual en la mayoría de las industrias.

#### 4. **N EMPRESAS PRIVADAS**

En esta sección vamos a extender el modelo básico presentado en la sección 2, suponiendo que existen  $n$  empresas privadas ( $n \geq 2$ ) y una pública. De este modo, consideramos que el sector privado tiene mayor peso, por lo que podemos analizar si los resultados obtenidos hasta ahora son robustos ante variaciones en el número de empresas privadas. Por simplicidad de exposición de los resultados supongamos que  $\gamma_0 = 1$ , es decir, tanto la empresa pública como las privadas generan las mismas emisiones por unidad producida.

Consideramos primero el caso en que la estructura de mercado es un oligopolio

mixto. Los resultados obtenidos quedan recogidos en el siguiente lema.

**Lema 3.** Cuando la estructura de mercado es un oligopolio mixto, en equilibrio, el impuesto medioambiental, los niveles de reducción de la contaminación y la producción de las empresas, el beneficio de las empresas, el daño medioambiental, el excedente de los consumidores y el bienestar social son, respectivamente:

$$t^M = a_i^M = \frac{3A(1+n)}{(5+n)(5+3n)},$$

$$a_0^M = \frac{A(5+4n)}{(5+n)(5+3n)},$$

$$q_i^M = \frac{3A(2+n)}{(5+n)(5+3n)},$$

$$q_0^M = \frac{5A(2+n)}{(5+n)(5+3n)},$$

$$\pi_0^M = \frac{A^2(145+154n+43n^2)}{2(5+n)^2(5+3n)^2},$$

$$\pi_i^M = \frac{9A^2(13+14n+4n^2)}{2(5+n)^2(5+3n)^2},$$

$$i = 1, \dots, n,$$

$$DM^M = \frac{A^2(5+4n)^2}{2(5+n)^2(5+3n)^2},$$

$$EC^M = \frac{A^2(2+n)^2}{2(5+n)^2},$$

$$W^M = \frac{A^2(50+71n+29n^2+3n^3)}{2(5+n)^2(5+3n)}.$$

El nivel de producción de cada empresa y su nivel de reducción total de emisiones decrece con  $n$  ( $\partial q_i^M/\partial n < 0$ ,  $\partial a_i^M/\partial n < 0$ ,  $i=0, \dots, n$ ). Al aumentar el número de empresas privadas la competencia en el mercado aumenta y, por lo tanto, cada empresa produce menos, por lo que tendrá que disminuir su reducción de emisiones. Como resultado, el impuesto fijado por el gobierno decrece con el número de empresas ( $\partial t^M/\partial n < 0$ ). Igualmente, el hecho de que la producción de cada empresa disminuya con  $n$  hace que las emisiones netas de cada empresa también disminuyan, por lo que el daño medioambiental decrece con  $n$  ( $\partial DM^M/\partial n < 0$ ).

El excedente de los consumidores crece con el número de empresas privadas ( $\partial EC^M/\partial n > 0$ ) ya que al aumentar su número aumenta la competencia en el mercado y, por lo tanto, la producción de la industria. Como resultado, el bienestar social crece con  $n$  ( $\partial W^M/\partial n > 0$ ) dado el fuerte peso del excedente de los consumidores en la función de bienestar social.

Cuando la estructura de mercado es un oligopolio privado, los resultados que obtenemos quedan recogidos en el siguiente lema.

**Lema 4.** Cuando la estructura de mercado es un oligopolio privado, en equilibrio, el impuesto medioambiental, el nivel de

reducción de la contaminación, el nivel de producción, el beneficio de las empresas, el daño medioambiental, el excedente de los consumidores y el bienestar social son, respectivamente:

$$t^P = a_i^P = \frac{A(3+5n+n^2)}{27+31n+10n^2+n^3},$$

$$q_i^P = \frac{A(8+6n+n^2)}{27+31n+10n^2+n^3},$$

$$\pi_i^P = \frac{A^2(201+318n+187n^2+46n^3+4n^4)}{2(27+31n+10n^2+n^3)^2},$$

$$i = 0, \dots, n,$$

$$DM^P = \frac{A^2(5+6n+n^2)^2}{2(27+31n+10n^2+n^3)^2},$$

$$EC^P = \frac{A^2(8+14n+7n^2+n^3)^2}{2(27+31n+10n^2+n^3)^2},$$

$$W^P = \frac{A^2(10+17n+8n^2+n^3)}{2(27+31n+10n^2+n^3)}.$$

Al igual que en el caso del oligopolio mixto, la producción de cada empresa, el nivel de reducción total de emisiones de cada empresa, el impuesto medioambiental y el daño medioambiental decrecen con  $n$ ; el excedente de los consumidores y el bienestar social crecen con  $n$ .

#### 4.1. Comparación de los resultados

En esta sección vamos a comparar los resultados de los lemas 3 y 4. Comparando el excedente de los consumidores y el de los productores obtenidos en los oligopolios mixto y privado podemos

observar que cuando existen  $n$  empresas privadas se obtiene el mismo resultado que con una empresa privada. El motivo es que, independientemente del número de empresas privadas, la empresa pública es muy agresiva en el mercado del producto por lo que produce más que las privadas. Como resultado, la producción total en el oligopolio mixto es mayor que en el privado, lo que lleva a que en el oligopolio mixto el excedente de los consumidores sea mayor y el de los productores sea menor que en el privado.

A continuación vamos a comparar, en los oligopolios mixto y privado, el impuesto medioambiental fijado por el gobierno y el daño medioambiental generado por el proceso productivo de las empresas.

**Proposición 5.** Cuando  $n \geq 2$ , en equilibrio:

- i) el impuesto medioambiental es mayor en el oligopolio privado que en el mixto y,
- ii) el daño medioambiental es mayor en el oligopolio mixto que en el privado.<sup>4</sup>

Se puede comprobar que el nivel de producción de cada empresa privada del oligopolio privado siempre es mayor que el de cada empresa privada del oligopolio mixto. Por otro lado, los lemas 3 y 4 muestran que las empresas privadas, tanto en el oligopolio mixto como en el privado, reducen sus niveles de contaminación en la cuantía del impuesto. Por lo tanto, dado

<sup>4</sup> El resultado i) se mantiene si  $\gamma_0 < 1.2$ ; si  $\gamma_0 \geq 1.2$  este resultado se mantiene si  $n$  es suficientemente grande (una condición suficiente es que  $n > 4$ ). El resultado ii) se mantiene si  $\gamma_0 > 0.8$ ; si  $\gamma_0 \leq 0.8$  este resultado se mantiene si  $n$  es suficientemente grande (una condición suficiente es que  $n > 4$ ).

que el número de empresas privadas es suficientemente grande ( $n \geq 2$ ), el impuesto que fija el gobierno a las empresas del oligopolio privado es mayor que el que fija a las empresas del oligopolio mixto ( $t^M < t^P$ ).

Dado que el gobierno fija un mayor impuesto medioambiental a las empresas del oligopolio privado, éstas generarán menores emisiones netas por lo que el daño medioambiental será menor.

La diferencia de estos resultados respecto a los de las proposiciones 3 y 4 se debe a que al aumentar el número de empresas aumenta la producción de la industria, por lo que el resultado ya no depende de la producción de la empresa pública.

## 5. CONCLUSIONES

En la mayoría de los mercados de productos que observamos en la realidad encontramos que las empresas públicas compiten con las privadas, y que el proceso productivo de estas empresas contamina el medio ambiente. No obstante, la literatura que estudia el medio ambiente se ha centrado en industrias en las que únicamente hay empresas privadas, mientras que la literatura que analiza la coexistencia de empresas públicas y privadas no tiene en cuenta que el proceso

productivo de las empresas contamina. Por lo tanto, el objetivo de este artículo es ligar ambas literaturas, analizando cómo la existencia de empresas públicas que compiten con las privadas en los mercados afecta a la política medioambiental del gobierno y, por lo tanto, al daño medioambiental que sufre un país.

En este artículo obtenemos que cuando únicamente existe una empresa privada, y la empresa pública y la privada pueden generar diferente nivel de emisiones por unidad de producto, el impuesto medioambiental es mayor en el duopolio mixto que en el privado si y sólo si el nivel de emisiones de la empresa pública es suficientemente mayor que el de la empresa privada. Por otro lado, el daño medioambiental es menor en el duopolio mixto que en el privado si el nivel de emisiones de la empresa pública es suficientemente pequeño en relación al de la privada.

Cuando consideramos que existe más de una empresa privada y que las empresas privadas generan el mismo nivel de emisiones por unidad producida que la empresa pública, obtenemos que el impuesto medioambiental es mayor en el oligopolio privado mientras que el daño medioambiental es mayor en el oligopolio mixto.





## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BÁRCENA, J. C. y GARZÓN, M.B. (2001a): "International Trade and Strategic Privatization". Documento de trabajo Biltoki, nº 2001.10. Universidad del País Vasco.
- BÁRCENA, J. C. y GARZÓN, M.B. (2001b): "Mixed Oligopoly and Environmental Policy". Documento de trabajo Biltoki, nº 2001.05. Universidad del País Vasco.
- BARRETT, S. (1994): "Strategic Environmental Policy and International Trade". *Journal of Public Economics*, vol. 54, pp. 325-338.
- BARROS, F. (1995): "Incentive Schemes as Strategic Variables: An Application to a Mixed Duopoly". *International Journal of Industrial Organization*, vol. 13, pp. 373-386.
- DE FRAJA, G. y DELBONO, F. (1989): "Alternatives Strategies of a Public Enterprise in Oligopoly". *Oxford Economic Papers*, vol. 41, pp. 302-311.
- DE FRAJA, G. y DELBONO, F. (1990): "Game Theoretic Models of Mixed Oligopoly". *Journal of Economic Surveys*, vol. 4, pp. 1-17.
- FALK, I. y MENDELSON, R. (1993): "The Economics of Controlling Stock Pollutants: An Efficient Strategy for Greenhouse Gases". *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 25, pp. 75-88.
- MARKUSEN, J.R., MOREY, E. R. y OLEWILER, N. (1995): "Competition in Regional Environmental Policies when Plant Locations are Endogenous". *Journal of Public Economics*, vol. 56, pp. 55-77.
- MARKUSEN, J.R. (1997): "Costly Pollution Abatement, Competitiveness and Plant Location Decisions". *Resource and Energy Economics*, vol. 19, pp. 299-320.
- MATSUMURA, T. (1998): "Partial Privatization in Mixed Duopoly". *Journal of Public Economics*, vol. 70, pp. 473-483.
- ULPH, A. (1996): "Environmental Policy and International Trade when Governments and Producers Act Strategically". *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 30, pp. 265-281.
- VAN DER PLOEG, F. y DE ZEEUW, A. J. (1992): "International Aspects of Pollution Control". *Environmental and Resource Economics*, vol. 2, pp. 117-139.