

## COMERCIO ESTRATÉGICO Y POLÍTICAS AMBIENTALES PARA LAS INDUSTRIAS OLIGOPÓLICAS\*

*Alberto Gallegos y Pierre Régibeau\*\**

### RESUMEN

En este artículo nos ocupamos de la relación entre el comercio internacional y la contaminación endógena con un mecanismo en que la política comercial proporciona al gobierno nacional una advertencia creíble que influye en el comportamiento estratégico de las empresas para adoptar tecnologías más limpias. El gobierno tiene un incentivo mayor para proteger una industria limpia que para proteger a una muy contaminante. En ese sentido, una economía abierta localmente contaminada con una estructura de mercado imperfectamente competitiva tenderá a disminuir las emisiones de contaminantes en mayor medida que con un régimen autárquico. Un compromiso con el libre comercio sería contraproducente: eliminaría la capacidad del gobierno para amenazar creíblemente a los niveles de protección más bajos. Demostremos que cualquier liberación del comercio podría disminuir el bienestar del país.

### ABSTRACT

In this paper we address the relationship between trade and endogenous pollution levels with a mechanism where trade policy provides the home government with a credible threat that influence firm's strategic behaviour to adopt cleaner technologies. The government has a greater incentive to protect a clean industry than to

\* *Palabras clave:* administración comercial, liberación comercial, contaminación local. *Clasificación JEL:* F18, L10. Artículo recibido el 30 de septiembre de 2004 y aceptado el 27 de abril de 2007 (traducción del inglés de Eduardo L. Suárez).

\*\* Tecnológico de Monterrey, Campus Ciudad de México, y University of Essex.

protect a very polluting one. In that sense a locally polluted open economy with an imperfectly competitive market structure is likely to reduce pollution emissions more than under an autarky regime. A commitment to free trade would be counter-productive: it would remove the government's ability to credibly threaten lower levels of protection. We show that any trade liberalisation could decrease the home country's welfare.

## INTRODUCCIÓN

En los dos pasados decenios los economistas y los ambientalistas han intentado explicar las complejas relaciones entre las políticas ambientales y comerciales y de evaluar los efectos probables de nuevas liberaciones comerciales en el ambiente y su sostenibilidad. En virtud de que varias de las industrias más contaminantes (por ejemplo, minería, productos químicos) se caracterizan mejor como oligopolios, los modelos del comercio internacional que toman en cuenta el poder de mercado parecen estar particularmente bien adaptados para esta clase de análisis.

Hay varios ensayos que examinan la manera como las políticas ambientales afectan la competitividad de las empresas nacionales en un marco internacional en el que el gobierno nacional tiene un poder de compromiso para influir *ex post* en el comportamiento de las empresas (véase Barret, 1994; Conrad, 1993; Kennedy, 1994, y Ulph, 1996. Spencer y Brander (1983), y Brander y Spencer (1983a) examinan la interacción estratégica entre las empresas en un contexto en el que el gobierno hace un compromiso previo respecto al subsidio para las exportaciones, establece un impuesto sobre los niveles de la ID y finalmente las empresas nacionales y extranjeras escogen, *à la Cournot*, los montos de producción. Junto con Eaton y Grossman (1986), estos autores demuestran cómo el gobierno, escogiendo primero la política comercial, se compromete a prestar su poder a las empresas nacionales, que aumenta el bienestar nacional.

Muchos otros examinan cómo un comercio más libre puede afectar el uso y la reasignación de los factores productivos escasos, sobre todo en los países en desarrollo donde los sectores productivos utilizan intensivamente los recursos naturales como factores primarios.<sup>1</sup> Sin embargo, en este artículo

<sup>1</sup> Véase en Copeland (1994), Copeland y Taylor (1994 y 2001), y Grossman y Kruege (1991) una contribución seminal en un marco de equilibrio general. Aparece un análisis de equilibrio parcial en Markusen *et al* (1995), así como en Conrad (1993) y Kennedy (1994). Véase una reseña reciente de la bibliografía en Karp *et al* (2001).

utilizamos un enfoque diferente: en lugar de preguntar cómo un comercio más libre afecta el ambiente al elaborar óptimamente las políticas comerciales y ambientales juntas, preguntamos cómo puede influir el compromiso del gobierno en la adopción de una tecnología de producción más limpia cuando se otorga alguna protección mediante el empleo de una política comercial activa y administrada.

Por una parte, este artículo se ocupa también de la relación entre el comercio y la contaminación endógena; sin embargo, nos alejamos del enfoque tradicional al suponer que los gobiernos tienen en efecto un poder de compromiso limitado. Lo hacemos en un juego de etapas en que el gobierno nacional escoge la política comercial antes de que la empresa nacional pueda escoger su monto de producción. Por otra parte, el enfoque principal es muy diferente del de la bibliografía anterior, a saber: el mecanismo que relaciona la contaminación y el comercio es que el comercio internacional proporciona al gobierno nacional de una amenaza creíble que ayuda a motivar a las empresas nacionales a adoptar tecnologías más limpias. Esta amenaza creíble surge de que el gobierno tiene un incentivo mayor para proteger a una industria limpia que para proteger a una industria altamente contaminante. En ese sentido, la existencia del comercio internacional ayuda a reducir la contaminación interna en comparación con la que prevalecería en una situación de autarquía. Por otra parte, un compromiso con el libre comercio sería contraproducente: eliminaría la capacidad del gobierno para amenazar creíblemente a los niveles de protección más bajos, de modo que conduciría a mayor contaminación que los del comercio “libremente administrado”.

El resultado fundamental es que el gobierno (el único activo en la política) puede utilizar su política arancelaria para impulsar la adopción de la tecnología limpia y por tanto los compromisos arancelarios vinculantes pueden conducir al empleo de métodos de producción sucios. Esta idea básica se analiza formalmente en un modelo de equilibrio parcial de dos países. Se hace hincapié en el mercado interno de uno de los dos países. Este mercado está servido por empresas nacionales y extranjeras. La manufactura nacional crea una contaminación proporcional a la producción nacional. En virtud de que las empresas extranjeras sirven al mercado mediante las exportaciones, no generan ninguna contaminación local.<sup>2</sup>

El plan del artículo es el siguiente. En la sección I se presenta un modelo de duopolio con competencia de Cournot. El país es un importador neto

<sup>2</sup> El análisis se extiende para incluir al consumo en el país extranjero.

del bien final contaminante imperfectamente competitivo. Cada una de las empresas produce en su país de origen y la empresa extranjera exporta toda su producción hacia el país afrontando un impuesto al comercio. Al principio nos concentraremos sólo en el bienestar del país. El gobierno maximiza una función de bienestar social tomando en cuenta que un impuesto al comercio es el único instrumento de la política. Se examinan y comparan los incentivos privados y mundiales para la adopción de la tecnología no contaminante. En la sección II se resuelve el modelo identificando la política comercial óptima y la manera como el régimen comercial administrado que se propone ofrecer incentivos para adoptar la tecnología limpia en la empresa nacional. También postulamos que el gobierno extranjero es activo en la política comercial. En la sección III evaluamos la solidez de nuestros resultados ante diversos cambios en la especificación del modelo. Al final presentamos algunas conclusiones.

## I. EL MODELO

Elaboramos un modelo en un país con consumo interno de un bien homogéneo. Se modela el consumo interno empleando una función de demanda inversa dada por  $p(Q) = 1 - Q$ , en que  $Q = q_1 + q_2$  es la producción total de la industria. Hay dos empresas, una nacional y una extranjera, que compiten a la Cournot. La empresa nacional produce localmente, mientras que la empresa extranjera produce en el exterior y exporta hacia el país.

Están disponibles dos tecnologías de producción, una ambientalmente más limpia que la otra. La tecnología "sucia" genera contaminación local, mientras que la tecnología "limpia" no lo hace. El costo de bienestar social de la contaminación es proporcional a la producción local, es decir, el costo social de la contaminación en el país es directamente proporcional a la producción de ese país:  $q_1$  si la empresa nacional emplea la tecnología "sucia", y 0 si el país adopta la tecnología "limpia",<sup>3</sup> lo que significa que la tecnología más limpia elimina en efecto toda la contaminación.<sup>4</sup>

Las dos tecnologías tienen el mismo costo marginal de producción, pero la tecnología "limpia" incluye un "costo de adopción" fijo adicional  $F > 0$ . Suponemos los mismos costos marginales a fin de evitar los efectos del "co-

<sup>3</sup> es un parámetro tecnológico.

<sup>4</sup> Esto elimina también el efecto de "escala" tradicional asociado al comercio exterior, de modo que podemos concentrarnos en el "efecto compromiso", que es el enfoque de este ensayo.

mercio estratégico”. Estos efectos del “comercio estratégico” harían más compleja la computación sin añadir nada nuevo al análisis. Sin embargo, su importancia radica en que la elección de tecnología no afecta al costo marginal de la producción, si se separa al mercado nacional y el extranjero a fin de evitar los efectos del derramamiento. Si lo hiciera, las políticas que intentan disminuir la contaminación nacional afectarían la capacidad “emprededora” de las empresas nacionales. La mayor parte de la bibliografía concluye (véase Ulph, 1996; Conrad, 1993; Barret, 1994) que cuando se modela la competencia entre las empresas empleando el marco de Cournot, los incentivos relacionados con el comercio implican que las políticas ambientales serán más débiles que su nivel eficiente: al comprometerse con una política ambiental menos restrictiva, los gobiernos disminuyen los costos marginales de las empresas nacionales reguladas, lo que las hace más competitivas y emprendedoras en un contexto internacional.<sup>5</sup>

Sin embargo, en el modelo elaborado aquí se emplea el arancel como una política subóptima, antes que sólo un impuesto al comercio exterior.<sup>6</sup> En este caso, el impuesto al comercio exterior sustituye a un impuesto directo a las emisiones y un subsidio a la adopción. En consecuencia, hay un papel para la retención de cierta flexibilidad en la política arancelaria por razones ambientales. El modelo se construye de manera que, en ausencia de un arancel a las importaciones, la empresa nacional no adoptaría jamás la tecnología limpia: la tecnología nueva es costosa y no tiene efecto alguno en los costos marginales de la producción, lo contrario de lo que se afirma en la mayor parte de la bibliografía.

Consideramos un juego de tres etapas. La primera es la elección de tecnología por la empresa nacional. En la segunda el gobierno nacional escoge su política comercial. En la última las empresas compiten a la manera de Cournot-Nash. Al escoger la cronología del modelo, suponemos que los gobiernos tienen un poder de compromiso limitado. Más específicamente, consideramos como es tradicional que los gobiernos pueden escoger sus políticas comerciales antes de que las empresas escojan sus montos de producción, pero también postulamos que las empresas escogen el tipo de tecnología de la producción que emplearán, antes de que puedan comprometerse las políticas comerciales. La justificación principal de esto es que puede ar-

<sup>5</sup> Véase en Karp *et al* (2001) una reseña reciente de la bibliografía.

<sup>6</sup> Un arancel es un impuesto al comercio exterior, específicamente un impuesto a las importaciones, pero el impuesto al comercio exterior podría abarcar también a las exportaciones.

güirse que la adopción de tecnología es menos fácilmente reversible que las elecciones de política. En ese sentido, nuestra cronología es similar a la del modelo de Brander y Spencer (1987), en el que las empresas trasnacionales escogen entre servir a un mercado por medio de las exportaciones o de la inversión extranjera directa, antes de que el gobierno receptor pueda comprometerse con ciertos niveles de protección comercial o tributación local.

La política comercial asume la forma de un arancel unitario. Según lo que llamamos el régimen del “comercio administrado”, el gobierno nacional escoge el nivel del arancel unitario,  $t$ . Con un régimen de “libre comercio” el gobierno está comprometido a satisfacer  $t = 0$ . Consideramos también un caso en el que hay un límite superior a los aranceles que el gobierno puede escoger en la etapa dos. Podemos definir entonces una “liberación comercial” como una disminución de este límite superior.

Al escoger el arancel el gobierno pondera el aumento del excedente del productor nacional, y la recaudación del arancel contra la disminución del excedente del consumidor. Además, el gobierno considera que la producción interna adicional implica una contaminación adicional, mientras que eso no ocurre con la producción extranjera adicional. Este efecto aconseja una protección menor y es más fuerte cuanto más contaminantes sean las empresas nacionales.

En la tercera etapa del juego, las empresas extranjeras y nacionales compiten en las cantidades. El mecanismo decisivo es que, en el equilibrio perfecto de subjuego de este juego, las empresas nacionales avizoran que la elección de una tecnología más limpia generará mayor protección. Por tanto, la amenaza creíble de la negación de (alguna) protección si no se escogen tecnologías más limpias ayuda a proporcionar incentivos para su adopción.

## II. EL DUOPOLIO

### 1. *Las empresas de la tercera etapa compiten à la Cournot*

En esta etapa del juego la competencia duopólica se hace *à la Cournot*. De acuerdo con las conjeturas de Cournot, cada empresa cree que la otra mantendrá su producción constante, mientras que la producción de esa empresa cambia. Por tanto, la función de ganancia para cada una de las empresas asume le forma siguiente:

$$\pi_1 = p(Q)q_1 - c_1q_1 \quad (1)$$

para la empresa nacional,<sup>7</sup> y

$$\pi_2 = p(Q)q_2 - tq_2 - c_2q_2 \quad (2)$$

para la empresa extranjera.<sup>8</sup> Cuando el total de la producción industrial es

$$Q = q_1 + q_2 \quad (3)$$

en consecuencia la demanda inversa es

$$p(Q) = 1 - (q_1 + q_2) \quad (4)$$

Se supone que las empresas se comportan a la manera de Cournot-Nash. La maximización de las ganancias genera:

$$q_1 = \frac{1 - q_2 - c_1}{2} \quad (5)$$

y

$$q_2 = \frac{1 - q_1 - tc_2}{2} \quad (6)$$

La producción de equilibrio de la empresa nacional y la extranjera puede encontrarse de (5) y (6) como:

$$q_1^* = \frac{1 - t}{3} \quad (7)$$

$$q_2^* = \frac{1 - 2t}{3}$$

A fin de asegurar una solución interior, necesitamos  $t < 1/2$ . Ahora bien, la recaudación arancelaria correspondiente es:

$$T = tq_2^* = \frac{t(1 - 2t)}{3} \quad (8)$$

La producción de la industria en equilibrio es:

$$Q^* = q_1^* + tq_2^* = \frac{(2 - t)}{3}$$

y el precio de equilibrio es:

<sup>7</sup> Las ganancias de la empresa uno incluyen los costos fijos de la adopción  $F$ . Más adelante, en esta sección, el análisis correspondiente a los incentivos nacionales para la adopción de la tecnología considera las ganancias netas.

<sup>8</sup> Las exportaciones de la empresa extranjera al país que tiene un impuesto sobre las importaciones.

$$p = \frac{(1-t)}{3} \quad (9)$$

Sustituyendo en las funciones de ganancias, obtenemos la ganancia bruta de equilibrio de la empresa nacional:

$$\pi_1^* = \frac{(1-t)^2}{9} \quad (10)$$

y la ganancia de equilibrio de la empresa extranjera:

$$\pi_2^* = \frac{(1-2t)^2}{9} \quad (11)$$

## 2. Segunda etapa: El gobierno determina el arancel óptimo

El gobierno nacional maximiza:

$$w = \int_0^Q p(Q) dQ - p(Q)Q - t q_2 - q_1 \quad (12)$$

Diferenciando (12) respecto a  $t$  y sustituyendo la información relevante proveniente de la tercera etapa donde las empresas escogen cantidades, el arancel óptimo que maximiza el bienestar nacional asume la forma siguiente:

$$t^* = \frac{1}{3} \quad (13)$$

En ausencia de la contaminación este arancel es positivo pero no prohibitivo.<sup>9</sup> El arancel es menor cuanto mayor sea el parámetro tecnológico de la contaminación  $\beta$ . Esto significa que para una empresa nacional se dará *ex post* la protección más fuerte si ha escogido la tecnología limpia. Dado que la empresa nacional prevé esta recompensa, la capacidad del país para escoger libremente su política comercial *ex post* aumenta el incentivo para que la empresa nacional adopte la tecnología nueva en la etapa dos.<sup>10</sup> Esto se demuestra formalmente líneas abajo.

<sup>9</sup> Este impuesto óptimo es todavía menor que  $1/2$  para cualquier valor positivo de  $\beta$ . Si el parámetro de la contaminación es suficientemente bajo, es decir,  $0 < \beta < 1$ , esto se traducirá en un impuesto positivo al comercio exterior. Cuando  $\beta$  es suficientemente alto, el impuesto al comercio exterior podría ser efectivamente un subsidio.

<sup>10</sup> Sin embargo, con el libre comercio la empresa nacional no tiene ningún incentivo para adoptar la

Sustituyendo este arancel óptimo en las variables de equilibrio obtenidas de la solución de la tercera etapa, establecemos las ganancias óptimas en el equilibrio y el nivel óptimo de la producción industrial:

$$q_1^* = \frac{(4 - \tau)^2}{81} \tag{14}$$

de igual modo, en el caso de la empresa extranjera,

$$q_2^* = \frac{(1 - 2\tau)^2}{81} \tag{15}$$

Y los niveles óptimos de la producción con el arancel óptimo para la empresa nacional y la extranjera son:

$$q_1^* = \frac{4}{9} \tag{16}$$

$$q_2^* = \frac{1 - 2\tau}{9}$$

que para asegurar una solución interna necesitamos  $\tau < 4$ .

De igual modo, el total de la producción industrial y el precio de equilibrio son:

$$Q^* = \frac{5}{9} \tag{17}$$

$$p^* = \frac{4}{9}$$

Si se adopta una tecnología más limpia,  $\tau = 0$  y la función de la ganancia bruta de la empresa nacional asume la forma siguiente:<sup>11</sup>

$$B_1(\tau) = \frac{4}{9} \tau^2 \tag{18}$$

Por tanto, los incentivos de la empresa nacional para invertir en la tecnología no contaminante se obtienen comparando las ganancias de la empresa nacional si adopta, con las ganancias si no adopta.

$$B_1 - B_1(0) = B_1(\tau) - B_1(0) = \frac{(8 - 4\tau)}{81} \tag{19}$$

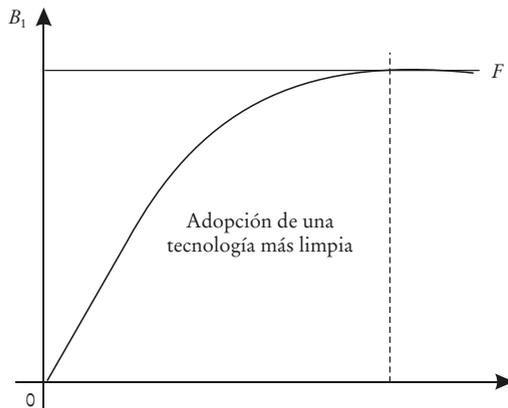
tecnología menos contaminante. La adopción es costosa y no ofrece ninguna ganancia porque el arancel se fija *ex post* igual a 0, no que significa la ausencia de toda protección.

<sup>11</sup> La función de las ganancias netas de la empresa nacional es  $B_1(\tau) - F = \frac{4}{9} \tau^2 - F$ .

En otras palabras, las empresas adoptarán la tecnología limpia si el parámetro de la contaminación es suficientemente alto. El intervalo del costo de la inversión  $F$  en el que se adoptaría la tecnología corresponde a todos los valores positivos menores que  $B_1$ , es decir,  $F < B_1$ . Queda claro que para  $F > B_1$  el costo de la inversión sería mayor que las ganancias, y la empresa escogería la tecnología contaminante.

Ahora bien, de  $q_1^* = (4 - \tau)/9$ , queda claro que a fin de asegurar que el nivel de equilibrio de la producción para la empresa 1 sea positivo, necesitamos  $\tau < 4$ , lo que supondremos que en efecto ocurre. Esto implica que  $B_1 > 0$ . Esto significa que la política arancelaria *ex post* que emerge con el régimen de “comercio exterior libremente administrado” proporciona a la empresa nacional incentivos para invertir en una tecnología más limpia. El intervalo de la inversión en una tecnología más limpia se muestra en la gráfica 1.<sup>12</sup>

GRÁFICA 1. Incentivos privados para adoptar una tecnología limpia



### 3. Liberación comercial

Supongamos que existe un límite superior vinculante<sup>13</sup> para los aranceles, definido como  $\bar{\tau}$ . Modelamos la liberación comercial como una disminución de  $\bar{\tau}$ . Claramente, la liberación no tiene ningún efecto si no es vinculante, es

<sup>12</sup> Adviértase que el problema de la empresa no implica la elección del valor óptimo de  $\tau$ , sino simplemente una elección discreta entre una tecnología limpia y una sucia, es decir, que  $\tau$  no es una variable continua y que los cambios de este parámetro sólo se consideran para propósitos de estática comparativa.

<sup>13</sup> Según el artículo II del GATT 94, las partes contratantes pueden “vincular” sus aranceles. Una “vinculación” es un compromiso de no aumentar la tasa arancelaria por encima de los montos especificados en las tablas de concesiones de cada miembro.

decir, si  $t < t^*(\theta) < 1/3$ . Por otra parte, cualquier liberación comercial que disminuya el arancel máximo considerado más adelante ( $1/3$ ) disminuirá el incentivo de la empresa nacional para adoptar la tecnología limpia. Esto es así porque, para

$$t < \max\left\{0, \frac{1}{3}, \frac{1}{3}\right\}$$

la liberación disminuye la protección otorgada después de la adopción, mientras que mantiene constante la protección en el caso de la no adopción. Si la contaminación no es demasiado intensa, es decir,  $\theta < 1$ , hay otro intervalo de liberación en la que  $t \in [0, (1 - \theta)/3]$ , en que se eliminan todos los incentivos para cambiar a la tecnología más limpia.

*Proposición 1.* Toda liberación comercial vinculante disminuye los incentivos para que la empresa nacional invierta en la tecnología más limpia. En particular, los incentivos para la inversión en una tecnología más limpia son mayores con el comercio administrado que con el libre comercio.

#### 4. Bienestar nacional

Cuando se realiza el análisis del bienestar en el país, surge la cuestión de si las elecciones tecnológicas son óptimas no sólo desde el punto de vista privado sino también desde el punto de vista social. Esto significa que necesitamos determinar si la adopción de tecnología, que conduce a una protección mayor, no disminuye el bienestar general. Añadiendo la negativa de los incentivos privados nacionales para adoptar la tecnología más limpia al bienestar nacional total, podemos tener una medida del bienestar que nos permita saber si desde el punto de vista del bienestar del país, y no desde el de la empresa nacional, la adopción de la tecnología disminuye la externalidades de la producción, aumentando la protección pero sin disminuir el bienestar total del país.

Para determinar esto necesitamos comparar los incentivos privados y los sociales para la adopción de la tecnología más limpia, es decir, necesitamos comparar  $B_1$  con el cambio ocurrido en el bienestar del país que se detona por un cambio hacia la nueva tecnología. Este cambio está dado por la expresión:

$$\Delta W = B_1 - CS^* - T^* - q_1^* \quad (20)$$

El primer término del miembro derecho de (20) representa el cambio en el excedente del consumidor. Este término es claramente negativo porque la adopción de una tecnología más limpia conduce a una mayor protección y por tanto a un precio interno mayor. El tercer término  $\Delta T_1^*$  es el cambio generado en la protección de la empresa nacional por la adopción de la tecnología más limpia. Es igual al incentivo privado para la adopción de la tecnología más limpia, es decir,  $B_1$ , y es positivo según los supuestos formulados acerca del valor relevante de  $\tau$  para asegurar una solución interna del nivel de la producción nacional. El último término corresponde a la disminución de la contaminación, de modo que es positivo.

Por último, el segundo término es el cambio en la recaudación arancelaria  $\Delta T^*$ , que puede ser *a priori* positivo o negativo. Pero con nuestra especificación precisa, el arancel óptimo con la tecnología limpia es mayor que el arancel que maximizaría las recaudaciones arancelarias. De acuerdo con la expresión para la recaudación arancelaria:

$$T^* = t^* q_2^* \left( \frac{1}{3} - \frac{1}{9} \tau \right) \tag{21}$$

se alcanza la recaudación arancelaria máxima en el equilibrio cuando  $\tau = 1/4$ . Esto se muestra en la gráfica 2. Cuando la contaminación no es demasiado intensa ( $\tau < 1/4$ ), la adopción, que significa  $\tau = 0$ , disminuye en efecto la recaudación arancelaria. Pero cuando la contaminación es intensa, la adopción ( $\tau = 1/2$ ) aumenta la recaudación arancelaria.<sup>14</sup>

El cambio del bienestar del país se expresa entonces como sigue:

$$\Delta w = w(\tau) - w(0) \tag{22}$$

Sustituyendo las variables óptimas en la función del bienestar social nacional cuando la empresa nacional no adopta la tecnología no contaminante, entonces:

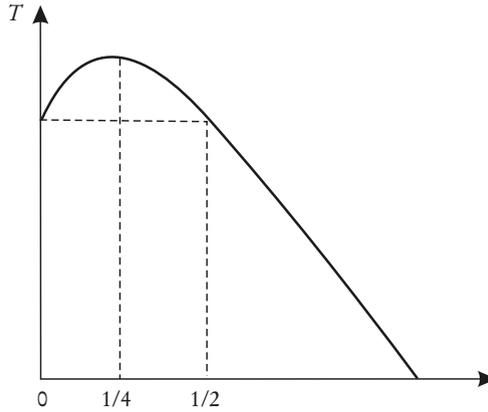
$$w(\tau) = \frac{(1-\tau)(7-\tau)}{18} \tag{23}$$

De modo que, para  $\tau = 1/4$  que puede verse como un caso especial, tenemos:

$$w(0) = \frac{7}{18} \tag{24}$$

<sup>14</sup>  $T(\tau = 0) - T(\tau = 1/2) = 1/27$ , entonces cuando el parámetro de la contaminación es mayor de 1/2, la adopción de la tecnología más limpia aumentará la recaudación arancelaria.

GRÁFICA 2. *Cambios de la recaudación arancelaria tras la adopción de la tecnología limpia*



Comparando el cambio del bienestar debido a la adopción de una tecnología más limpia mediante el empleo de las ecuaciones (23) y (24):

$$w - w(0) = w(\alpha) - \frac{(8 - \alpha)}{18} \tag{25}$$

Comparando el efecto de bienestar social de la adopción de la tecnología más limpia con el incentivo privado para la adopción, podemos determinar con cuáles condiciones es la adopción socialmente deseable. Tenemos:

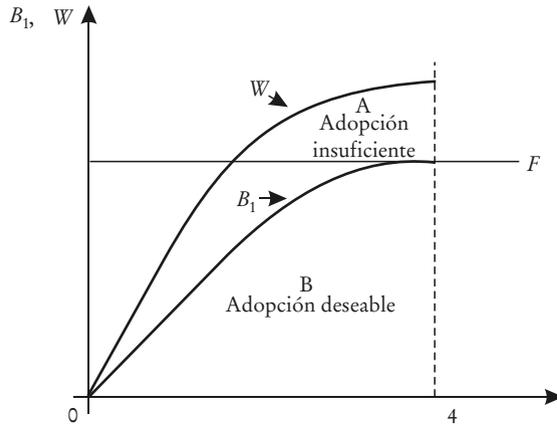
$$w - B_1 = \frac{7(8 - \alpha)}{162} \tag{26}$$

que es positivo para todos los valores del parámetro de la contaminación ( $\alpha < 4$ ). Esto significa que, para todos los valores relevantes de  $\alpha$ , aunque el excedente del consumidor disminuiría como resultado de la protección mayor con la adopción de la tecnología, el bienestar del país sería todavía mayor que el incentivo para que las empresas nacionales adopten la tecnología más limpia. Por tanto, si consideramos el costo fijo de la adopción  $F$ , hay valores de  $F$  para los que resulta deseable la adopción de la tecnología limpia pero no ocurre,<sup>15</sup> empero no hay valores de  $F$  para los que se observe la adopción socialmente indeseable. Esto se muestra en la gráfica 3.

*Proposición 2.* El comercio libremente manejado ofrece incentivos para la adopción de la tecnología limpia, pero estos incentivo son insuficientes

<sup>15</sup> Para los valores de  $0 < F \in [w, B]$  para una  $\alpha$  dada.

GRÁFICA 3. Incentivos privados para adoptar y bienestar del país



desde el punto de vista del bienestar general del país cuando los costos de la inversión  $F$  ( $B_1, w$ ).

Este resultado sugiere inmediatamente que “el comercio libremente manejado” genera siempre un bienestar nacional mayor que el del libre comercio, o en efecto mayor que el de cualquier nivel intermedio de la liberación comercial. Si la liberación comercial no cambia el comportamiento de adopción de la empresa nacional, no podrá aumentar el bienestar del país.<sup>16</sup> Si la empresa nacional invierte de todos modos en tecnología limpia, cualquier valor por debajo de  $1/3$  sencillamente impide que el gobierno nacional fije su arancel óptimo *ex post*. Si la empresa nacional continúa empleando la tecnología sucia de todos modos, entonces cualquier  $t$  por encima de  $(1 - \dots)/3$  no afecta el bienestar, porque todavía puede escogerse el arancel óptimo *ex post*. Por otra parte, la liberación posterior que lleve a  $t$  por encima de  $(1 - \dots)/3$  obligaría al país a fijar un arancel subóptimo *ex post*, disminuyendo su bienestar.

Por la proposición 2 sabemos que la liberación comercial no puede aumentar los incentivos de la empresa para adoptar la tecnología limpia. Por tanto, solo tenemos que analizar el caso en que la empresa adoptaría el “comercio libremente administrado”, pero no lo haría después de que se haya liberado el comercio. Definamos el arancel debajo del cual la empresa deja de invertir en la tecnología limpia como  $t_c$ . Consideremos una liberación comercial tal

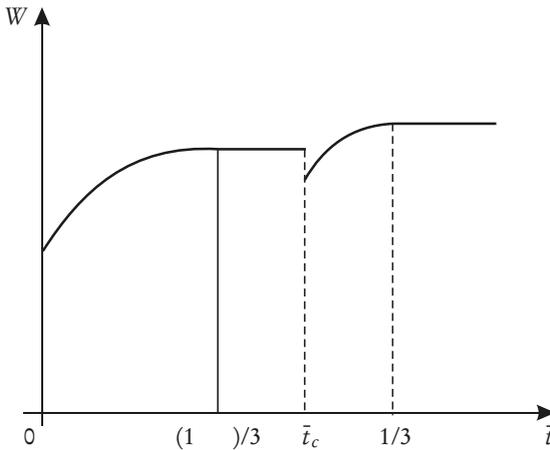
<sup>16</sup> El cambio del comportamiento de adopción se refiere a una situación hipotética en la que la liberación comercial proporciona incentivos para que la empresa nacional adoptara la tecnología más limpia. Si, como ocurre en este modelo, la liberación comercial no conduce a una adopción de la tecnología más limpia, no disminuirán las emisiones contaminantes, de modo que no mejorará el bienestar nacional.

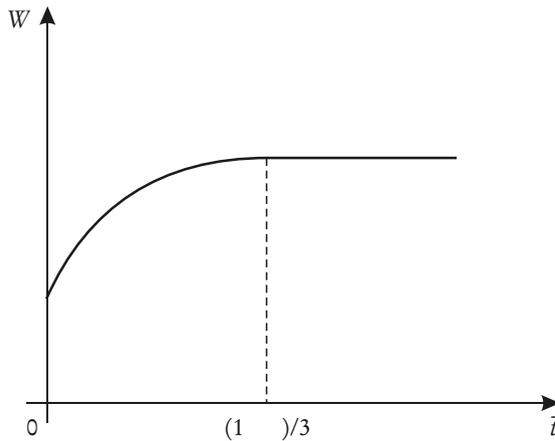
que  $t < t_c$ . Dado que la empresa tiene ya incentivos insuficientes para invertir, esta liberación sólo puede disminuir el bienestar: el país llega a cualquier límite arancelario justo por debajo del nivel crítico  $t_c$  escogiendo su arancel óptimo de “no adopción” *ex post*  $t = (1 - \alpha)/3$ . Como  $w > B_1 = 0$ , sabemos que esto genera un bienestar que es menor que cuando el país puede inducir la adopción y fija su arancel *ex post* igual a  $1/3$ .

**Proposición 3.** La liberación comercial no puede aumentar jamás el bienestar nacional.

La evolución del bienestar nacional como el límite superior del arancel se resume en la gráfica 4. La gráfica 4a representa una situación inicial de adopción insuficiente (región A en la gráfica 3). Como se explicó líneas arriba, la liberación comercial no tiene ningún efecto en el bienestar del país hasta que el arancel máximo alcanza  $(1 - \alpha)/3$ . Una liberación mayor por encima de este punto disminuye el bienestar. La gráfica 4b se traza para un punto inicial en la región B de la gráfica 3. En cuanto la liberación es vinculante, disminuye el bienestar nacional. Esta disminución continúa hasta el punto en que la empresa ya no adopta la tecnología limpia. En este punto, el bienestar puede aumentar o disminuir en principio. Esto depende de que el bienestar en ausencia de la adopción y un arancel óptimo *ex post* de  $(1 - \alpha)/3$  sea mayor o menor que el bienestar cuando ocurre la adopción y un arancel restringido igual a  $t_c$ . Si aumenta el bienestar, sabemos que aún es menor que si no hubiera ninguna liberación comercial: en la región B la adopción con un arancel

GRÁFICA 4a. Evolución del bienestar con adopción insuficiente



GRÁFICA 4b. *Evolución del bienestar para una adopción deseable*

no restringido es mejor que la ausencia de adopción con un arancel no restringido. Un aumento de la liberación no afecta al bienestar hasta que  $t$  alcanza  $(1 - \sqrt{3})/3$ , en cuyo punto las nuevas disminuciones de  $t$  disminuyen el bienestar.

Sin embargo, para el gobierno nacional no tiene caso elegir un arancel más allá del nivel óptimo  $t = 1/3$ , porque una protección mayor no conduciría a una adopción mayor por parte de la empresa nacional. Sin embargo, si un gobierno nacional fija un arancel por encima de este óptimo y luego lo convierte en un arancel limitado para iniciar una liberación comercial que implique un movimiento descendente hacia el arancel óptimo  $1/3$ , eso no cambiaría tampoco el comportamiento de la adopción ni mejoraría el bienestar del país.<sup>17</sup> En tal caso, la liberación comercial a partir de un arancel mayor que el óptimo  $1/3$  hacia el óptimo, sería deseable desde el punto de vista del bienestar mundial como veremos en la subsección siguiente, ya que el hecho de tener un impuesto comercial mayor que el óptimo limitaría el monto de la producción para la empresa extranjera, que disminuye las ganancias extranjeras y aumenta a la vez las de la empresa nacional.<sup>18</sup>

Aunque nos hemos centrado en la cuestión de la liberación comercial, debe estar claro que, en nuestro modelo, la autarquía no es nunca óptima. Esto se demuestra por el hecho de que la autarquía, justo como el comercio

<sup>17</sup> La especificación de este modelo convierte al bienestar del país dependiente del comportamiento de adopción.

<sup>18</sup> Con la competencia de Cournot, un arancel otorga a la empresa del país la ventaja del primer motor, limitando en consecuencia las ganancias de la empresa extranjera. El equilibrio de Nash resultante es el equilibrio de Stackelberg.

con  $t > t_c$ , no induce nunca la adopción de tecnología limpia. Si no hay adopción, el país hará lo mejor si fija su arancel óptimo *ex post* en  $(1 - \alpha)/3$ . En virtud de que este arancel no es prohibitivo, por definición debe generar un bienestar nacional mayor que el de la autarquía. Por tanto, cualquier monto de liberación comercial es siempre preferible a la autarquía. Se aplica un argumento similar cuando la adopción ocurre en el comercio libremente manejado y es socialmente óptima (región B en la gráfica 3): si el comercio manejado es mejor que el mejor régimen posible sin adopción, y la adopción es más deseable que el comercio manejado, debe ser mejor que la autarquía.

*Proposición 4.* Existe siempre un grado de liberalización comercial para el que el bienestar del país nacional es mayor que con la autarquía. La autarquía está dominada también por el comercio libremente administrado.

### 5. El bienestar mundial

El bienestar mundial difiere del bienestar del país en dos sentidos: incluye las ganancias de la empresa extranjera tanto como la contaminación asociada a la producción extranjera. En virtud de este segundo término, no podemos evaluar el bienestar mundial sin formular algunos supuestos acerca de la tecnología empleada en la empresa extranjera. En la primera parte de esta subsección suponemos sencillamente que la empresa extranjera está utilizando una tecnología limpia, de modo que la contaminación extranjera no es ningún problema. En la segunda parte examinamos el caso contrario en el que la empresa extranjera utiliza una tecnología sucia, de modo que la contaminación extranjera complica más aún el análisis.

a) *La empresa extranjera "limpia"*. Suponemos que la empresa extranjera ha sido dotada de una tecnología de producción limpia. Esto significa que el bienestar global diferirá del bienestar nacional sólo respecto a las ganancias de la empresa extranjera. La adopción de una tecnología limpia por la empresa nacional conduce a un arancel mayor, disminuyendo *ex post* las ganancias de la empresa extranjera en el equilibrio.<sup>19</sup>

Ahora bien, dado que estas ganancias son la diferencia entre el bienestar mundial y el bienestar nacional, la adopción debe ser menos deseable desde sólo el punto de vista del mundo que desde el punto de vista del país. En otras palabras, dado que el país tiene el motivo de "desplazamiento de la ga-

<sup>19</sup> La motivación del traslado de la ganancia para la intervención.

nancia” para la intervención, la tecnología de la adopción por la empresa nacional conduce a un aumento de la protección *ex post*, lo que disminuye por tanto las ganancias de la empresa extranjera. El aumento de su impuesto al comercio (la disminución de las ganancias de la empresa extranjera) no mejora el bienestar mundial. Así que desde el punto de vista del bienestar mundial es menos deseable el aumento de la protección *ex post*. Esto plantea la posibilidad de que los incentivos privados de la empresa nacional para adoptar la tecnología limpia podrían ser en efecto excesivos desde el punto de vista del mundo en su conjunto. Sin embargo, podemos demostrar que no ocurre así.

Formalmente, el bienestar mundial está dado por la expresión siguiente:

$$W^W = P^*Q^* - q_1^* \frac{(4 - \beta)(5 - 8\beta)}{81} \tag{27}$$

Desde el punto de vista del mundo en su conjunto, la adopción de tecnología limpia por la empresa nacional es deseable si y sólo si:

$$W^W - W^W(0) = W^W(\beta) - F \frac{20}{81} - \frac{(4 - \beta)(5 - 8\beta)}{81} - F \frac{(37 - 8\beta)}{81} - F \geq 0$$

Ahora bien, si se compara este cambio del bienestar mundial con el incentivo de la empresa privada nacional, tenemos:

$$W^W - B_1 = \frac{(29 - 7\beta)}{81} \tag{28}$$

Dado que (28) es positivo para cualquier  $\beta < 4$ , los incentivos de las empresas para la adopción no pueden ser en efecto excesivos desde el punto de vista del bienestar mundial. En otras palabras, aunque los incentivos privados para la adopción de la tecnología más limpia, y luego para tener una protección mayor *ex post*, son alentados por el desplazamiento de la ganancia de la empresa extranjera a la nacional, el cambio del bienestar mundial detonado por la adopción de tecnología sería todavía mayor que los incentivos privados para todos los valores relevantes del parámetro de la contaminación,  $\beta$ . En tal caso, aunque la disminución de las ganancias de las empresas extranjeras no es deseable, la disminución de la contaminación mediante la adopción de tecnología en el país compensa con creces al bienestar del país extranjero, lo que deja la adopción de tecnología como una elección deseable desde el punto de vista del bienestar mundial cuando la empresa extranjera ha sido dotada de una tecnología limpia.

b) *La empresa extranjera “sucia”*. Si la empresa extranjera utiliza tecnología sucia, el bienestar mundial incluirá el costo social extranjero de la contaminación, además de la ganancia de las empresas extranjeras. Entonces, la adopción de tecnología limpia por la empresa nacional tiene un efecto positivo adicional en el bienestar mundial: la adopción conduce a la imposición de aranceles mayores por el gobierno nacional. En consecuencia, disminuye la producción de la empresa extranjera, y por tanto también la contaminación extranjera, reduciéndose como resultado las emisiones mundiales de contaminación.

El bienestar mundial está dado por la expresión siguiente:

$$W^W(\theta) = P^*Q^* - Q^* \frac{(5 - \theta)(4 - 10\theta)}{81} \tag{29}$$

Desde el punto de vista del mundo en su conjunto, la adopción de tecnología limpia por la empresa nacional es deseable si y sólo si:<sup>20</sup>  $W^W(\theta) > W^W(0)$ , en que  $W^W(0) = W^W(\theta)$ , utilizando (29), obtenemos:

$$W^W(\theta) - W^W(0) = \frac{(37 - 10\theta)}{81} > 0 \tag{30}$$

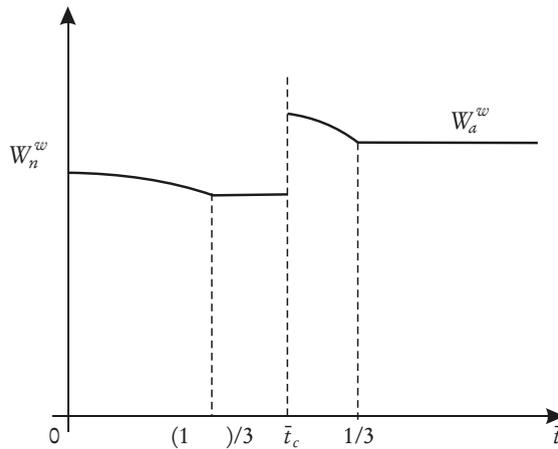
Para cualquier valor posible del parámetro de la contaminación  $\theta$ , esta expresión será siempre positiva, es decir, la adopción es más deseable desde el punto de vista del bienestar mundial que desde el punto de vista del nacional. Comparando ahora el cambio del bienestar mundial según el supuesto de una empresa extranjera “sucia”  $W^W(\theta) - W^W(0) = (37 - 10\theta)/81$  con el cambio del bienestar nacional debido a la adopción de tecnología más limpia  $\Delta W^N = (8 - \theta)/18$  obtenemos:

$$\Delta W^W - \Delta W^N = \frac{37 - 10\theta}{81} - \frac{8 - \theta}{18} > 0 \tag{31}$$

para cualquier valor positivo de  $\theta$ . El último resultado, inequívocamente positivo, significa que desde el punto de vista del bienestar mundial la adopción es más deseable que desde el punto de vista del bienestar nacional cuando la empresa extranjera utiliza también una tecnología contaminante. En otras palabras, el efecto positivo adicional de la adopción de una tecnología más limpia por la empresa nacional se refleja en la diferencia entre el cambio del bienestar mundial y el cambio del bienestar nacional, que como

<sup>20</sup> Esta comparación implica que en el país la empresa ha adoptado la tecnología limpia en presencia de una empresa extranjera contaminante; entonces, esto necesita compararse con el caso en que ambas empresas contaminan.

GRÁFICA 5. Liberación del comercio y bienestar mundial



se dijo líneas arriba es inequívocamente positiva  $W^w \quad \omega \quad 0$ . Dado que los incentivos para la adopción eran ya insuficientes en la presencia de una empresa extranjera “limpia”, permanecen así cuando la propia empresa extranjera contribuye a la contaminación global.

*Proposición 5.* El comercio libremente administrado proporciona incentivos para la adopción de la tecnología limpia, pero estos incentivos son insuficientes desde el punto de vista del bienestar global del país.

El efecto cualitativo de la liberación comercial en el bienestar mundial no depende de que la empresa extranjera contamine o no. La pauta general se muestra en la gráfica 5. A la derecha del nivel del arancel crítico  $t_c$ , se adopta la tecnología limpia. Para todo  $t \in [t_c, 1/3]$  el país fijará el arancel máximo permitido. Por tanto, el bienestar mundial disminuye o aumenta. Para  $t = 1/3$ , el país escoge su arancel óptimo *ex post* y el bienestar mundial permanece constante. A la izquierda del arancel crítico, la empresa nacional continúa utilizando su tecnología “sucia”. Para todos los valores de  $t$  entre  $(1-\epsilon)/3$  y  $t_c$ , el país escoge el arancel óptimo *ex post*  $t = (1-\epsilon)/3$  y el bienestar mundial es constante en este intervalo. Dado que la mayor liberación disminuye los aranceles sin afectar más a la elección de tecnología, también aumenta el bienestar mundial.

La “altura” relativa de los diferentes segmentos de la función del bienestar en la gráfica 5 queda por analizarse. Sabemos que, siempre que ocurre la adopción y se escoge el arancel óptimo *ex post* del país, el bienestar mundial

es mayor que cuando no se adopta la tecnología limpia y el país escoge su arancel óptimo *ex post*. Esto significa que el segmento horizontal a la derecha de  $t_c$  debe estar por encima del segmento horizontal a la izquierda. Por otra parte, la posición relativa del segmento horizontal más a la derecha y el bienestar con el libre comercio no están claros *a priori*. Con el libre comercio, el bienestar es:  $W_n^w(\tau_2 = 0) = (2 - 3)/9$ , suponiendo que la empresa extranjera no contamina y  $W_n^w(\tau_2 = \infty) = (2(1 - 3))/9$ , si la empresa extranjera sí contamina. Los niveles correspondientes del bienestar con el “comercio libremente administrado” son:  $W_a^w(\tau_2 = 0) = (20/81) - F$ , con una empresa extranjera limpia, y  $W_a^w(\tau_2 = \infty) = ((20 - 9)/81) - F$  con una empresa extranjera sucia.

Se demuestra sin dificultad que, cualquiera que sea la tecnología de la empresa extranjera,  $W_a^w > W_n^w - F - B_1$ , es decir, el costo de la inversión  $F$  que es justamente suficiente para convertir al libre comercio tan atractivo como el “comercio libremente manejado” es mayor que el costo máximo de la inversión que la empresa nacional está dispuesta a soportar. Esto implica que el bienestar mundial con el “comercio libremente manejado” debe ser mayor que con el libre comercio. Además, la gráfica 8 muestra claramente que el bienestar se maximiza en  $t = t_c$ . Por tanto, podemos enunciar.

*Proposición 6.* El bienestar mundial es mayor con el “comercio libremente administrado” que con el libre comercio. Sin embargo, una liberación comercial moderada que restrinja el arancel del país sin impedir la adopción de la tecnología limpia por la empresa nacional aumenta el bienestar mundial.

c) *Dos gobiernos activos.* Hasta ahora, sólo el gobierno nacional ha desempeñado un papel activo en la elaboración de la política comercial mundial. En esta subsección suponemos que las ventas se hacen en los mercados nacionales y extranjeros, y que el gobierno extranjero desempeña también un papel activo. La cronología del modelo no es diferente del análisis anterior. En la primera etapa, la empresa nacional y la extranjera deciden si la inversión en la tecnología no contaminante es más rentable o no que la abstención de la adopción de esa tecnología. En la segunda etapa del juego, el gobierno nacional y el extranjero deciden de manera no cooperativa el arancel que maximiza su propio bienestar. En la tercera etapa la empresa nacional y la extranjera escogen el monto de la producción en ambos mercados a manera de Cournot-Nash, suponiendo que el consumo proviene de dos fuentes: la producción nacional y las importaciones en ambos países.

Ahora, cada empresa produce para su propio mercado y para el extranjero; por tanto, el total de la producción industrial de cada empresa está dado por:  $z_i = y_i + x_i$  para todo  $i = 1, 2$ , en que  $y_i$  es el monto de la producción vendida en el mercado nacional, y  $x_i$  es el monto de la producción vendida en el mercado extranjero, respectivamente. Por tanto, el monto total de la producción vendida en un mercado dado es:

$$q_i = y_i + x_j \text{ para todo } i = j \quad (32)$$

De igual manera, en el mercado nacional la demanda está dada por la función de demanda inversa

$$p(q_i) = 1 - y_i - x_j \text{ para todo } i = j \quad (33)$$

En la última etapa del juego, como se explicó antes, la empresa nacional y la extranjera compiten a la manera de Cournot-Nash. Para encontrar los niveles de la producción industrial, partimos como siempre de las funciones de ganancias de cada una de las empresas. La diferencia con el caso anterior es que en esta ocasión ambos gobiernos imponen aranceles. Entonces las funciones de ganancia para ambas empresas son:

$$\begin{aligned} \pi_1 &= p(q_1)y_1 - p(q_2)x_1 - t_2x_1 \\ \pi_2 &= p(q_2)y_2 - p(q_1)x_2 - t_1x_2 \end{aligned} \quad (34)$$

Ahora, por las condiciones de primer orden para cada uno de los mercados,<sup>21</sup> sabemos que la solución nos da los montos de la producción vendida en el mercado nacional:

$$\begin{aligned} y_1^* &= \frac{1 - t_1}{3} \\ x_2^* &= \frac{1 - 2t_1}{3} \end{aligned} \quad (35)$$

De igual modo, por las condiciones de primer orden del país extranjero tenemos los montos de la producción vendida en el mercado extranjero:

$$\begin{aligned} x_1^* &= \frac{1 - 2t_2}{3} \\ y_2^* &= \frac{1 - t_2}{3} \end{aligned} \quad (36)$$

<sup>21</sup> Los mercados nacionales y los extranjeros se tratan por separado.

estos valores óptimos implican que el monto total del producto vendido en el mercado nacional y en el extranjero son, respectivamente:

$$q_1^* \quad y_1^* \quad x_2^* \quad \frac{2}{3} t_1 \quad (37)$$

y

$$q_2^* \quad y_2^* \quad x_1^* \quad \frac{2}{3} t_2 \quad (38)$$

mientras que el total de la producción industrial elaborada por cada uno de los países está dado por las expresiones:

$$z_1^* \quad y_1^* \quad x_1^* \quad \frac{2}{3} t_1 \quad 2t_2 \quad (39)$$

y

$$z_2^* \quad y_2^* \quad x_2^* \quad \frac{2}{3} t_2 \quad 2t_1 \quad (40)$$

El precio de equilibrio en cada país asume los valores siguientes:

$$p(q_1^*) \quad \frac{1}{3} t_1 \quad (41)$$

para el país, y

$$p(q_2^*) \quad \frac{1}{3} t_2 \quad (42)$$

para el país extranjero. De igual modo, sustituyendo estos valores en la función de ganancias de cada una de las empresas, obtenemos para la empresa nacional:

$$1 \quad \frac{1}{3} t_1^2 \quad \frac{1}{3} 2t_2^2 \quad (43)$$

y

$$2 \quad \frac{1}{3} t_2^2 \quad \frac{1}{3} 2t_1^2 \quad (44)$$

para la empresa extranjera.

Como en el caso anterior, durante la segunda etapa del juego, los gobiernos deciden su arancel óptimo de manera no cooperativa. La diferencia principal respecto al “caso de un gobierno activo-un mercado” es que, ahora, la función de bienestar social nacional toma en cuenta el costo social asociado a la producción del bien final vendido por su empresa nacional en el mercado nacional y el extranjero:<sup>22</sup>

<sup>22</sup> Líneas abajo explicaremos el efecto de escala.

$$w_1(\cdot) = \int_0^{q_1} p(q_1) dq_1 - p(q_1)q_1 - t_1 x_2 - z_1 \quad (45)$$

Diferenciando (45) con respecto a  $t$  obtenemos el arancel óptimo del país:

$$t_1^* = \frac{1}{3} \quad (46)$$

Como se esperaba, el arancel es positivo para valores suficientemente bajos del parámetro de la contaminación  $\beta$ . De igual modo para el país extranjero, donde la función del bienestar social asume la forma siguiente:

$$w_2(\cdot) = \int_0^{q_2} p(q_2) dq_2 - p(q_2)q_2 - t_2 x_1 - z_2 \quad (47)$$

Examinando el cambio marginal del bienestar, diferenciamos con respecto a  $t_2$  para obtener

$$t_2^* = \frac{1}{3} \quad (48)$$

Las ecuaciones (46) y (48), que definen la política óptima nacional y extranjera, son iguales que la ecuación (13), que define la política comercial óptima en el caso de “un gobierno-un mercado”. Esto es así porque los gobiernos sólo se preocupan por la producción nacional y sólo pueden influir en la producción nacional destinada a sus mercados locales. Para observar esto formalmente, suponemos que cada país tiene su propio parámetro de contaminación  $\beta_i$ , en que  $i = 1, 2$ . Las políticas comerciales óptimas determinadas por las ecuaciones (46) y (48) pueden expresarse entonces como sigue:  $t_i^* = (1 - \beta_i)/3$  para cualquier  $i = 1, 2$ . Así que la política comercial óptima en el país depende sólo de su propio parámetro de la contaminación  $\beta_i$ , es decir, la actividad contaminadora de la empresa extranjera es irrelevante. Además, la política comercial escogida por un gobierno afecta sólo a su mercado nacional. Por tanto, sólo importa la parte de la producción de la empresa nacional destinada al mercado nacional. Sin embargo, conviene destacar tres diferencias con respecto al análisis de “un país”.

- i) *Efecto de escala*. Los incentivos privados para la adopción en el país, es decir,  $B_1$ , son todavía los mismos porque la adopción por cualquier empresa sólo afecta sus ganancias en su mercado nacional. Ahora bien, los costos sociales de la contaminación son mayores porque, si la empresa

nacional no adopta la tecnología más limpia, la contaminación aumenta también por una cantidad proporcional a las ventas de la empresa nacional en el mercado extranjero.

- ii) *Externalidad de la adopción 1.* Hay ahora un juego de adopción entre las dos empresas. Sin embargo, mientras que los pagos que debe hacer cada empresa dependen de las decisiones de adopción de la otra empresa, la decisión de adopción propia de una empresa no depende de la acción de su competidor. Esto aparece claramente en la matriz siguiente, en la que se muestran los pagos del subjuego de la adopción. Definamos  $B_1(A)$  como los incentivos de la empresa nacional para adoptar la tecnología no contaminante si la empresa extranjera adopta, y definamos  $B_1(N)$  como los incentivos de la empresa nacional para adoptar si la empresa extranjera no adopta. Se verifica sin dificultad que

$$B_1(A) \quad B_1(N) \quad \begin{pmatrix} 8 \\ 81 \end{pmatrix} B_1(A) \quad B_1(N)$$

es decir, la decisión de adopción de la empresa nacional no depende de la elección de la empresa extranjera. Sin embargo, los pagos absolutos de las dos empresas dependen claramente de las elecciones de adopción de ambas empresas. Esto es particularmente claro cuando  $\tau = 4/5$  ambas empresas adoptan, es decir,  $F = B_1$ , y  $F$  es suficientemente bajo, es decir,  $F = (4 - 5\tau)/81$ . En ese caso, el subjuego tiene la estructura de un dilema del Prisionero: el equilibrio único es aquel en que ambas empresas adoptan pero ambas estarían mejor si pudieran convenir en conservar la tecnología sucia. Para entender esto, adviértase que, para valores grandes de  $\tau$ , el arancel óptimo *ex post* sin adopción es en efecto negativo, es decir, el gobierno subsidiaría en efecto a los competidores extranjeros. Adoptando la tecnología limpia, cada empresa priva en efecto a su competidor de este subsidio gubernamental. Cuando prevalece tal estructura de pagos la liberalización comercial recíproca entre los dos países podría aumentar efectivamente las ganancias de ambas empresas, desplazándolas del equilibrio  $(A, A)$  al equilibrio  $(N, N)$ .<sup>23</sup>

- iii) *Externalidad de la adopción 2.* Desde el punto de vista del país A, la adopción local de una tecnología limpia es más deseable si la producción nacional es grande. El tamaño de la producción nacional depende de la decisión de adopción de la empresa extranjera. Si la empresa ex-

<sup>23</sup> Para que ocurra este cambio necesitamos que ambos países convengan en  $\bar{\tau} = \bar{\tau}_c$ .

tranjera adopta la tecnología limpia, los aranceles de B serán altos, de modo que la producción nacional total de la empresa nacional de A será baja. En otras palabras, la adopción se torna menos deseable para el país A cuando ocurre la adopción en el país B, y viceversa.

	<i>Adoptar</i>	<i>No adoptar</i>
Adoptar	$\frac{17}{81} F, \frac{17}{81} F$	$\frac{17}{81} 4 (1 \quad ) F, \frac{17}{81} ( \quad 8)$
No adoptar	$\frac{17}{81} ( \quad 8), \frac{17}{81} 4 (1 \quad ) F$	$\frac{17}{81} (5 \quad 4), \frac{17}{81} (5 \quad 4)$

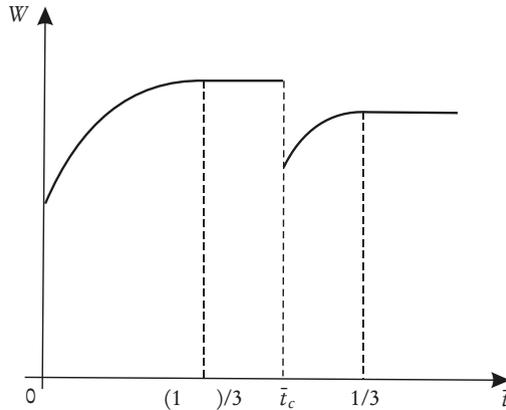
### III. LA SOLIDEZ

Algunos de nuestros resultados se darían claramente en condiciones mucho más generales de demanda y costo. En particular, es muy general la conclusión de que los incentivos de la empresa nacional para adoptar la tecnología limpia son mayores con el comercio libremente administrado que bajo el libre comercio (o la liberación parcial). Por otra parte, los resultados precisos del bienestar que obtenemos podrían cambiar si se utilizara formas funcionales diferentes. No podemos estar seguros de que los incentivos de la empresa nacional para adoptar la tecnología nueva serán siempre menores que los beneficios asociados para su país o para el mundo en su conjunto. Si no ocurriera así, habría todo un conjunto de parámetros para los que ocurriría la adopción aunque ello no maximizara el bienestar. En tal caso podemos demostrar que la liberación comercial que sea suficientemente drástica para desalentar la adopción aumentaría en efecto el bienestar. Además, la introducción de tal nivel “drástico” de la liberación comercial estará siempre disponible como una opción. Este argumento se bosqueja brevemente en seguida.

Supongamos que, con diferentes formas funcionales, obtenemos un conjunto de parámetros para los cuales la empresa adoptaría la tecnología limpia aunque el bienestar nacional fuera mayor si continuara utilizando la tecnología sucia. El efecto de la liberación comercial en el bienestar del país podría representarse entonces en la gráfica 6. Esta gráfica es muy similar a la gráfica 4b, al igual que el razonamiento implicado.

Si se parte del comercio administrado sin restricción, un fortalecimiento progresivo de  $t$  deja constante al bienestar nacional hasta que alcance al arancel óptimo *ex post*, dado que se ha adoptado la tecnología más limpia, definida como  $t_n^*$ , es decir, 1/3 en nuestro ejemplo de la demanda líneal. Para

GRÁFICA 6. Efecto de la liberación comercial en el bienestar del país



$t$  entre  $t_c$  y  $t_n^*$ , sigue ocurriendo la adopción, pero el país no puede fijar su arancel preferido *ex post*. El bienestar nacional disminuye entonces. Como en la gráfica 4b, la liberación comercial que mueve a  $t$  por debajo de  $t_c$  impide la adopción de la nueva tecnología. Dado que la adopción de la tecnología era indeseable aun si el arancel pudiera fijarse en  $t_n^*$ , evitar la adopción cuando el arancel se fija por debajo de  $t_n^*$  debe aumentar el bienestar nacional. Además, el bienestar nacional debe aumentar más que cuando  $t < t_n^*$ . El bienestar nacional permanece en este nivel mientras que  $t$  continúa mayor que el arancel óptimo *ex post* en ausencia de la adopción, definida como  $t_n^*$ , es decir,  $(1 - t_n^*)/3$  en nuestro ejemplo lineal. La fijación del arancel por debajo de este nivel disminuye de nuevo el bienestar. Así pues, en general se maximiza el bienestar del país cuando se utiliza un arancel que se encuentre entre  $t_n^*$  y  $t_c$ . Podemos concluir entonces que cuando el comercio libremente administrado conduce a la adopción indeseable de la nueva tecnología, la liberación comercial moderada —suficiente para impedir la adopción, pero dejando al país en libertad para fijar su arancel óptimo *ex post*— aumenta inequívocamente el bienestar del país.

En esencia, la liberación comercial ayuda al país a comprometerse creíblemente a “recompensar” a la empresa nacional por la adopción de la nueva tecnología. Dado que desaparecen los incentivos para la adopción a una tasa arancelaria que sea mayor que la tasa arancelaria óptima *ex post* en ausencia de la adopción, un tope adecuado del arancel puede eliminar la adopción indeseable sin afectar al bienestar nacional en el resultado de la ausencia de adopción.

## CONCLUSIONES

El modelo de comercio y contaminación presentado tiene un mecanismo fundamental que relaciona la contaminación con el comercio: el comercio proporciona al gobierno nacional de una amenaza creíble que ayuda a motivar a la empresa nacional a adoptar la tecnología no contaminante y producir un bien homogéneo que se venderá en el país y en el extranjero. Se hace hincapié en los incentivos nacionales, desde el punto de vista privado y mundial, para la adopción de una tecnología no contaminante que podría utilizar una empresa nacional. La comparación esencial es entre un “régimen de comercio libremente administrado”, en el que el gobierno está “en libertad” para escoger la política comercial, y una situación en la que el gobierno vincula su arancel a un “régimen de libre comercio”.

La cronología del modelo refleja que la elección de tecnología es una variable que puede considerarse más irreversible que la política comercial a corto plazo. Así pues, el gobierno nacional maximiza una función de bienestar social en la que se toman plenamente en cuenta el costo asociado a las emisiones de contaminación, el ingreso total y la recaudación fiscal. La política comercial óptima es tal que cuanto menor sea el parámetro de la contaminación mayor es el arancel óptimo. En otras palabras, la protección *ex post* es mayor si las empresas nacionales adoptan la tecnología no contaminante y luego reducen . Por tanto, mientras que el gobierno puede “administrar libremente” su régimen comercial, las empresas nacionales tienen incentivos para adoptar la tecnología no contaminante. Por otra parte, un régimen de libre comercio deja al gobierno nacional sin ninguna posibilidad de proporcionar una protección *ex post* a las empresas nacionales y, por tanto, para otorgar incentivos para la adopción de una tecnología limpia. Sin embargo, los incentivos para la adopción generados por el “comercio administrado” son socialmente insuficientes y esto implica que hay un papel complementario para los subsidios otorgados a la adopción.

Cuando se evaluaron los efectos de la adopción en el bienestar mundial fue necesario suponer dos panoramas posibles: cuando se ha dotado a la empresa extranjera de una tecnología no contaminante y cuando esta empresa produce utilizando una tecnología contaminante. En el primer caso, los aranceles tienen un efecto positivo adicional en las ganancias extranjeras en el caso descrito. En ese nivel, disminuyen las ganancias de equilibrio de la empresa extranjera, y en virtud de que estas ganancias son la diferencia entre

el bienestar mundial y el nacional, la adopción debe de ser menos deseable desde el punto de vista mundial que desde el punto de vista nacional. Cuando las empresas extranjeras producen utilizando la tecnología “sucia”, la adopción de la tecnología no contaminante por la empresa nacional tiene un efecto positivo adicional, ya que los aranceles más altos desplazan las ganancias de la empresa extranjera a las nacionales, y en consecuencia la producción industrial de la empresa extranjera, disminuyendo así la correspondiente contaminación extranjera.

La evaluación de las consecuencias de bienestar cuando se considera la adopción de tecnología en el contexto de dos gobiernos activos no cambia significativamente el análisis anterior. Sin embargo, hay tres diferencias principales, a saber: el efecto de escala y dos clases de externalidades de la adopción. El efecto de escala se refiere al hecho de que ahora los incentivos privados para la adopción son los mismos que en el caso de “un gobierno-un mercado”, porque la adopción afecta sólo al mercado propio de las empresas. Sin embargo, los costos sociales nacionales de la producción son mayores si las empresas continúan utilizando una tecnología “sucia”, porque la producción para el consumo nacional aumenta por las ventas de la empresa nacional en el mercado extranjero.

Por otra parte, surgen externalidades de la adopción porque los incentivos nacionales para adoptar la tecnología limpia disminuyen cuando la adopción ocurre en el país extranjero, y aunque los incentivos privados para la adopción de la tecnología limpia no dependen de la elección de tecnología por cada empresa, los pagos sí dependen de ella. Mientras que el pago que surge en cada empresa depende de las decisiones de adopción de cada una de las otras empresas, la decisión de adopción de la propia empresa no depende de la acción de su competidor. Por tanto, el equilibrio único es aquel en que la empresa extranjera y la nacional realizan la adopción, pero ambas empresas estarían mejor si pudieran ponerse de acuerdo para continuar utilizando la tecnología sucia. Sin embargo, desde el punto de vista del bienestar del país, la adopción local de la tecnología no contaminante es más deseable si la producción local es grande, lo que depende de la decisión de adopción de la empresa extranjera. Específicamente, si la empresa extranjera adopta la tecnología limpia su arancel *ex post* será suficientemente alto para desplazar las ganancias nacionales, y en consecuencia disminuirá la producción nacional. En otras palabras, los incentivos para la adopción disminuyen para el país cuando la adopción ocurre en el país extranjero.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bagwell, Kyle, y Robert W. Staiger (2000), "Strategic Trade Competitive Industries and Agricultural Trade Disputes", Oficina Nacional de Investigación Económica, Working Paper núm. 7822.
- Barret, Scott (1994), "Strategic Environmental Policy and International Trade", *Journal of Public Economics* 54, pp. 325-338.
- Brander, James A. (1981), "Tariffs and the Extraction of Foreign Monopoly Rents Under Potential Entry", *Canadian Journal of Economics* XIV, 3, pp. 371-389.
- (1983a), "Strategic Commitment With R & D: the Symmetric Case", *The Bell Journal of Economics* 14, pp. 225-235.
- (1983b), "Tariff Protection and Imperfect Competition", Heryk Kierzkowski (comp.), *Monopolistic Competition and International Trade*, Oxford University Press.
- , y Barbara J. Spencer (1985), "Export Subsidies and International Market Share Rivalry", *Journal of International Economics* 18, pp. 83-100.
- (1987), "Foreign Direct-Investment With Unemployment and Endogenous Taxes and Tariffs", *Journal of International Economics* 22, 3-4, pp. 257-279.
- (1995), "Strategic Trade Policy", Oficina Nacional de Investigación Económica, Working Paper núm. 5020.
- Burguet, Roberto, y Jaume Sempere (2003), "Trade Liberalisation, Environmental Policy, and Welfare", *Journal of Environmental Economics and Management* 46, pp. 25-37.
- Damania, D. (1986), "Pollution Taxes and Pollution Abatement in an Oligopoly Supergame", *Journal of Environmental Economics and Management* 30, pp. 323-336.
- Conrad, Klaus (1993), "Taxes and Subsidies for Pollution-Intensive Industries As Trade Policy", *Journal of Environmental Economics and Management* 25, páginas 121-135.
- Copeland, Brian R. (1994a), "International Trade and the Environment: Policy Reform in a Polluted Small Open Economy", *Journal of Environmental Economics and Management* 26, pp. 44-65.
- (1994b), "North-South Trade and the Environment", *Quarterly Journal of Economics* 109, pp. 755-787.
- , y M. Scott Taylor (2001), "International Trade and Environment: a Framework for Analysis", Oficina Nacional de Investigación Económica, Working Paper núm. 8540.
- Dixit, Avinash (1984), "International Trade Policy for Oligopolistic Industries", *The Economic Journal* 94 (suplemento), pp. 1-16.
- , y Gene M. Grossman (1986), "Targeted Export Promotion With Several Oligopolistic Industries", *Journal of International Economics* 21, pp. 233-249.

- Eaton, Jonathan, y Gene M. Grossman (1986), "Optimal Trade and Industrial Policy Under Oligopoly", *Quarterly Journal of Economics*, pp. 383-406.
- Fudenberg, D., y Jean Tirole (1991), "Game Theory", MIT.
- Greaker, Mads (2003), "Strategic Environmental Policy; Eco-Dumping or a Green Strategy?", *Journal of Environmental Economics and Management* 45, páginas 692-707.
- Grossman, Gene M., y Alan B. Krueger (1991), "Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement", Oficina Nacional de Investigación Económica, Working Paper núm. 3914.
- Hoel, Michael (1991), "Global Environmental Problems: The Effects of Unilateral Actions Taken by One Country", *Journal of Environmental Economics and Management* 20, pp. 55-70.
- Karp, Larry, Sandeep Sacheti y Jinhua Zhao (2001), "Common Ground Between Free Traders and Environmentalists", *International Economic Review* 42, 3, páginas 617-647.
- Kennedy, Peter W. (1994), "Equilibrium Pollution Taxes in Open Economies With Imperfect Competition", *Journal of Environmental Economics and Management* 27, pp. 49-63.
- Krugman, Paul (1984), "Import Protection As Export Promotion: International Competition in the Presence of Oligopoly and Economics of Scale", Henryk Kierzkowski, *Monopolistic Competition and International Trade*, Oxford University Press.
- Lahiri, Sajal, y M. Ozgur Kayalica (2001), "Strategic Environmental Policies in the Presence of Foreign Direct Investment", *Fondazione Eni Enrico Mattei*, páginas 1-22.
- Markusen, James (1975), "International Externalities and Optimal Tax Structures", *Journal of International Economics* 5, pp. 15-29.
- , e Ignatius J. Hortsman (1992), "Endogenous Market Structures in International Trade (Natura Facit Saltum)", *Journal of International Economics* 32, pp. 109-129.
- (1993), "Environmental Policy When Market Structure and Plant Locations Are Endogenous", *Journal of Environmental Economics and Management* 24, pp. 69-86.
- , Edward R. Morey y Nancy D. Olewiler (1995), "Competition in Regional Environmental Policies When Plant Locations Are Endogenous", *Journal of Public Economics* 56, pp. 55-77.
- Neary, J. Peter, y Dermot Leahy (2000), "Strategic Trade and Industrial Policy Towards Dynamic Oligopolies", *The Economic Journal* 110, pp. 484-508.
- Oates, Wallace E., y Robert M. Schwab (1988), "Economic Competition Among Jurisdictions: Efficiency Enhancing or Distortion Inducing?", *Journal of Public Economics* 35, pp. 333-354.

- Scott, B. (1994), "Strategic Environmental Policy and International Trade", *Journal of Public Economics* 54, 3, pp. 325-338.
- Spencer, Barbara J., y James A. Brander (1983), "International R & D Rivalry and Industrial Strategy", *Review of Economic Studies* L, pp. 702-722.
- Ulph, Alistair (1996), "Environmental Policy and International Trade When Governments and Producers Act Strategically", *Journal of Environmental Economics and Management* 30, pp. 265-281.