

Regulación ambiental óptima en una industria no-competitiva con inversión extranjera directa, cambio tecnológico exógeno y *spillovers* nacionales. El caso de países en desarrollo*

Optimal Environmental Regulation in a Non-competitive Industry with Foreign Direct Investment, Exogenous Technological Change, and Domestic Spillovers. The Case of Developing Countries

*Alejandro Sampaolesi***

ABSTRACT

This work depicts the design of an optimal environmental regulation when national and multinational firms coexist in a given industry. To accomplish this, we work in a partial equilibrium model and place a small country framework in which foreign direct investment (FDI) takes place. Our results show that, when the domestic firms act under non-competitive conditions and the foreign firms under competitive conditions respectively, such a regulation represents a tax or subsidy on emissions. This is the result of a “production effect”, which reflects the decrease in social welfare associated with a drop in the level of production of the domestic firms, and a “pollution effect”, which reflects the increase in welfare related to the lower level of emissions. Furthermore, when we allow for the possibility that the foreign firms experience an exogenous technological change, generated by means of their headquarters, with spillovers in favor of domestic firms, it is found that the new optimal policy (with technological change) could be greater, equal, or lower than the previous one (without technological change); therefore, we can conclude that

* Artículo recibido el 2 de julio de 2015 y aceptado el 11 de septiembre de 2015. Los errores remanentes son responsabilidad exclusiva del autor.

** Universidad de Ciencias Empresariales y Sociales (UCES) (correo electrónico: asampaolesi@campus.uces.edu.ar).

the effects of an exogenous technological change on the optimal environmental regulation are uncertain.

Key words: environment, FDI, technological change, political economy. *JEL Classification:* F23, H23, Q53.

RESUMEN

Este artículo describe el diseño de la regulación ambiental óptima cuando tanto firmas nacionales como multinacionales coexisten en una industria determinada. Para tal efecto, trabajamos en un modelo de equilibrio parcial e introducimos un contexto de país pequeño en el cual la inversión extranjera directa (IED) tiene lugar. Nuestros resultados muestran que, cuando las firmas nacionales actúan bajo condiciones no-competitivas y las firmas extranjeras bajo condiciones de competencia, respectivamente, tal regulación representa un impuesto-subsidio sobre el nivel de emisiones. Esto es el resultado de un “efecto producción”, el cual refleja la caída en bienestar asociada a una disminución en el nivel de producción de las firmas nacionales, y de un “efecto polución”, el cual refleja el incremento en bienestar relacionado a un nivel más bajo de emisiones. Además, cuando permitimos la posibilidad de que las firmas extranjeras experimenten un cambio tecnológico exógeno, generado por medio de sus casas matrices, con *spillovers* en favor de las firmas nacionales, encontramos que la nueva política óptima (con cambio tecnológico) podría ser mayor, igual, o menor que la política anterior (sin cambio tecnológico); por lo tanto, podemos concluir que el efecto de un cambio tecnológico exógeno sobre la regulación ambiental óptima es incierto.

Palabras clave: medio ambiente, IED, cambio tecnológico, política económica. *Clasificación JEL:* F23, H23, Q53.

INTRODUCCIÓN

El objetivo de este artículo es analizar el diseño de la regulación ambiental óptima cuando existe la posibilidad de que tanto firmas nacionales como transnacionales puedan establecerse en una determinada economía.¹ Contrariamente a los estudios previos sobre las relaciones entre las políticas ambientales a nivel de país y la inversión extranjera directa (IED), donde las primeras determinan la creación de filiales en el exterior, el presente análisis

¹ Este tipo de situaciones es bastante frecuente en la industria química, automotriz, etcétera.

está focalizado en el diseño de la política ambiental una vez que tales decisiones han sido elaboradas.² Esto refleja la idea de que en un mundo globalizado, donde el progreso tecnológico está asociado al uso de “tecnologías más limpias” y los estándares ambientales se vuelven más severos, tales decisiones no son necesariamente el resultado de las diferencias en dichas regulaciones y, por consiguiente, de las remuneraciones al capital natural, sino más bien el resultado de otras variables, tales como, por ejemplo, las barreras comerciales, el tamaño del mercado del país receptor y la incertidumbre sobre el tipo de cambio futuro. Por lo tanto, una vez que las firmas multinacionales se han establecido, el país beneficiario siempre tiene la posibilidad de ajustar su política ambiental a las nuevas condiciones de mercado.³

En este contexto, nuestro análisis utiliza un enfoque de equilibrio parcial para examinar los efectos sobre el bienestar de un impuesto a la polución generada por las diferentes empresas. En el que la utilización de un modelo de equilibrio parcial obedece a la posibilidad de estudiar el comportamiento de una industria en particular y, así, evitar las simplificaciones inherentes a los modelos de equilibrio general. Además, se asume que los bienes producidos por las empresas nacionales y extranjeras son sustitutos imperfectos, donde las empresas nacionales actúan bajo condiciones no-competitivas mientras que las extranjeras lo hacen bajo condiciones de competencia perfecta. Asimismo, se introduce el concepto de país en desarrollo en el sentido de que éste no posee ni el capital físico ni humano para generar innovaciones tecnológicas. Finalmente, se considera que la IED es horizontal y que las firmas carecen de la posibilidad de influenciar las decisiones gubernamentales.⁴

El presente análisis se diferencia de un estudio realizado con anterioridad (Sampaolesi, 2010) en el sentido de que el bien comercializado, en lugar de ser importado, es ofertado a nivel nacional por las firmas extranjeras y en que el cambio tecnológico, en lugar de ser realizado por las firmas nacionales en respuesta a la política ambiental, es realizado por las casas matrices de las firmas subsidiarias con *spillovers* a nivel nacional.

² Análisis de las relaciones entre regulaciones ambientales y decisiones de localización pueden ser encontrados en los trabajos de Markusen (1997) y Markusen *et al.* (1995).

³ Como es bien conocido, la mayoría de los estudios empíricos no han podido comprobar la hipótesis asociada al concepto de *pollution havens*. Esto es, la idea de que las políticas ambientales laxas/rigurosas determinarían el flujo de capitales reales entre países (véase, por ejemplo, Dietzenbacher y Mukhopadhyay, 2007, y Levinson y Taylor, 2008).

⁴ Esto último implica un bajo nivel de corrupción en el sector público (véase, por ejemplo, Cole *et al.*, 2006, para un análisis de las relaciones entre corruptibilidad gubernamental, impuestos ambientales y *lobbies* empresariales).

Nuestros resultados muestran que ante la incorporación de firmas multinacionales, la regulación ambiental óptima constituye un *impuesto-subsidio* ambiental. Éste es el resultado de la interacción entre un “efecto producción”, con consecuencias negativas sobre el bienestar social, y de un “efecto polución”, con consecuencias positivas sobre el mismo. De esta manera, ante la posibilidad de un cambio tecnológico exógeno, encontramos que las variaciones en los efectos mencionados son indeterminadas, implicando, por lo tanto, la posibilidad de que la nueva tasa ambiental (bajo cambio tecnológico) pueda ser superior, igual o inferior a la anterior.

Comparando estos resultados con los obtenidos en el trabajo precedente, encontramos que las principales diferencias e implicaciones están representadas en la incorporación de las emisiones provenientes de las firmas extranjeras en el efecto polución y en que el cambio tecnológico exógeno, al igual que el cambio tecnológico endógeno, tiene efectos indeterminados sobre la regulación ambiental óptima.

El artículo está organizado de la siguiente forma: la sección I describe las bases del modelo, el equilibrio del mercado y el diseño de la política ambiental óptima. La sección II introduce el cambio tecnológico exógeno y sus consecuencias sobre la regulación óptima. Por último se presentan las conclusiones.

I. EL MODELO

A partir del principio de *backward induction*, procedemos a resolver nuestro modelo vinculado a un *two-stage game* de atrás hacia delante. Entonces, en el segundo estado del juego, las firmas nacionales y extranjeras eligen sus niveles de producción y contaminación evitada bajo un comportamiento de Nash-Cournot y de competencia perfecta, respectivamente, y en el primer estado del juego, el gobierno determina la tasa ambiental óptima que maximiza el bienestar social, reconociendo que los niveles de producción y contaminación evitada dependen del nivel del impuesto sobre polución.⁵ Finalmente, se asume que: *i*) el precio internacional de los bienes ofertados por las empresas multinacionales está dado; *ii*) dichos bienes no pueden ser exportados debido a costos de transporte, tarifas externas, etc.; *iii*) el análisis está referido a un periodo dado en el cual el número de firmas está

⁵ Nótese que el impuesto sobre polución representa a *first-best policy* (Sampaolesi, 2010).

fijo; *iv*) tanto las empresas nacionales como las extranjeras producen bienes homogéneos; *v*) la IED es *horizontal* y existe un escenario de información completa; *vi*) existe simetría en cuanto a la estructura de costos para las firmas nacionales y extranjeras; y *vii*) no existe interacción con otros sectores de la economía o impacto en el mercado de factores.

1. *Demanda*

El consumidor se enfrenta a la elección de tres bienes, x , y y z . Donde el bien x y el bien y son sustitutos imperfectos y donde el bien z representa el consumo de todos los bienes restantes de la economía (*the numeraire*). Por lo tanto, asumiendo que el daño ambiental proveniente de las emisiones nacionales no afecta el grado de atracción relativa de los bienes, podemos expresar las preferencias del agente representativo por medio de una función de utilidad cuasilineal de la forma:

$$\tilde{U}(x, y, z, e) = U(x, y) + z - g(e) \quad (1)$$

donde $g(e)$ denota el daño ambiental y donde, por conveniencia, se asume que $U(x, y)$ toma la siguiente forma:

$$U(x, y) = ax - (b/2)x^2 + ay - (b/2)y^2 - kxy \quad \text{con: } a, b, k \geq 0, \text{ y } b \geq k^6 \quad (2)$$

Entonces, del proceso de maximización de la utilidad por parte de los consumidores podemos expresar la función de demanda inversa para cada bien como:

$$P_x = a - bx - ky \quad (3a)$$

$$P_y = a - by - kx \quad (3b)$$

donde P_x y P_y representan el precio del bien nacional y del bien transado respectivamente. Además, a partir de la función de utilidad empleada, podemos definir el excedente del consumidor como: $CS = U(x, y) - P_x x - P_y y$.⁷

⁶ Nótese que el parámetro k determina el grado de sustitución entre los bienes. Esto es, para $k = b$ los bienes son sustitutos perfectos.

⁷ Las propiedades de la función de utilidad usada son bien conocidas y no ameritan mayores especificaciones.

2. Oferta

Firmas nacionales. Se asume que existen n_x firmas idénticas y que la producción del bien x genera polución, donde el nivel de emisiones de un dado contaminante depende de los niveles de producción y contaminación evitada incurridos por dichas firmas. Por lo tanto, asumiendo rendimientos constantes y decrecientes en las actividades de producción y contaminación evitada respectivamente, podemos expresar la función de costo de la firma representativa como: $C_x^j(x^j, r_x^j) = c_x x^j + \gamma_x (r_x^j)^2/2$, con $c_x, \gamma_x \geq 0$, donde x^j y r_x^j representan los niveles de producción y de contaminación evitada asociados a la j -ésima firma, c_x simboliza el costo marginal de producción y γ_x constituye un parámetro de eficiencia en el proceso de reducir el nivel de emisiones.⁸ Además, por simplicidad, asumimos que una unidad del contaminante es igual a una unidad de producción, lo cual nos permite expresar el nivel de emisiones a nivel de firma como: $e_x^j = x^j - r_x^j$. Entonces, en el *second-stage game* la firma representativa toma como dados la tasa ambiental establecida por el gobierno, τ , y los niveles de producción y contaminación evitada de sus rivales y elige su propio nivel de producción, x^j , y contaminación evitada, r_x^j , que maximizan la siguiente función de beneficio:

$$\Pi_x^j(x^j, r_x^j) = P_x x^j - \left(c_x x^j + \tau e_x^j + \gamma_x \frac{(r_x^j)^2}{2} \right) \quad (4)$$

Teniendo en cuenta que $x = n_x x^j$, $r_x = n_x r_x^j$, y $e_x = n_x e_x^j$, podemos expresar las condiciones de primer orden a nivel de industria como:

$$x = \frac{(P_x - (c_x + \tau))n_x}{b} \quad (5a)$$

$$\tau = \gamma_x \frac{r_x}{n_x} \quad (5b)$$

donde la primera expresión implica que la industria nacional determina un nivel de producción para el cual el precio excede al costo-marginal efectivo, dado que incluye la tasa ambiental; y la segunda, que se evita contaminar hasta el punto donde el costo marginal de reducir el nivel de emisiones iguala al im-

⁸ Nótese que, por simplicidad, se asumieron costos constantes de producción e independencia entre los procesos productivos y de control de emisiones (esto es, $C_{xr_x} = 0$). Ejemplos donde $C_{xr_x} \neq 0$ pueden ser encontrados en Sampaolesi (2010).

puesto ambiental. Entonces, reemplazando por (5a) y (5b) en la función de beneficio de la firma representativa, podemos expresar los beneficios de las firmas nacionales a nivel de industria como: $\Pi_x(x, \tau) = (P_x - (c_x + \tau))x + 1/2 n_x \tau^2 / \gamma_x$, lo cual muestra que éstos no sólo provienen de su poder para fijar el precio del bien, sino también de su actividad de control de emisiones.

Firmas extranjeras: se asume que existe una única firma extranjera y que la misma decide producir con base en una *cost-induced decision*.^{9,10} Esto implica que el costo-marginal efectivo de producción está por debajo del precio internacional del bien, es decir $c_y + \tau < P_y^*$. De manera análoga, expresamos la función de costos de dicha firma como: $C_y(y, r_y) = c_y y + \gamma_y (r_y)^2 / 2$, con $c_y, \gamma_y \geq 0$. Finalmente, por simplicidad, se asume que ésta actúa en forma competitiva.¹¹ Entonces podemos expresar su función de beneficio como:

$$\Pi_y(y, r_y) = P_y y - \left(c_y y + \tau e_y + \gamma_y \frac{(r_y)^2}{2} \right), \quad \text{con: } e_y = y - r_y \quad (6)$$

Como antes, en el *second-stage game*, la firma extranjera maximiza su beneficio tomando como dado el impuesto ambiental establecido por el gobierno. Por lo tanto, las condiciones de primer orden asociadas al proceso de maximización son:

$$P_y = c_y + \tau \quad (7a)$$

$$\tau = \gamma_y r_y \quad (7b)$$

donde (7a) implica que el precio del bien debe igualar el costo-marginal efectivo y (7b) que el impuesto ambiental debe igualar el costo marginal de la actividad de reducir el nivel de emisiones. Entonces, reemplazando por (7a) y (7b), la función de beneficio de la firma extranjera puede ser expresada de la siguiente manera: $\Pi_y(\tau) = 1/2 \tau^2 / \gamma_y$. Nótese que, en contraste con la expresión para las firmas nacionales, los beneficios están generados sólo por la actividad de contaminación evitada.

⁹ Nótese que, dado nuestro supuesto de simetría en la producción, la inclusión de un número mayor de firmas extranjeras no afecta los principales resultados del análisis.

¹⁰ En el análisis no se contempla la posibilidad de una *tariff-induced decision* debido a razones teóricas (es decir, $P_y^* < (c_y + \tau) < P_y^*(1+t)$, con $t: ad\ valorem\ tariff$). Como es bien conocido, tal decisión viola el argumento de la ventaja comparativa para el caso de un país pequeño.

¹¹ Nótese que existe la posibilidad de un comportamiento no-competitivo de la firma extranjera, dependiendo esto último de las características del precio internacional (valor) y de la demanda nacional que ésta enfrenta.

3. Equilibrio de mercado

Resolviendo el sistema de ecuaciones formado por (3a), (3b) y (5a), podemos expresar las cantidades agregadas de equilibrio para ambos tipos de firmas y el precio del bien ofertado por las firmas nacionales como:

$$x = \frac{1}{H} \left[b(a - (c_x + \tau)) - k(a - (c_y + \tau)) \right] \quad (8a)$$

$$y = \frac{1}{H} \left[b \left(1 + \frac{1}{n_x} \right) (a - (c_y + \tau)) - k(a - (c_x + \tau)) \right] \quad (8b)$$

$$P_x = \frac{1}{H} \left[\frac{a}{n_x} (b^2 - bk) + (c_x + \tau)(b^2 - k^2) + (c_y + \tau)bk \right] \quad (8c)$$

$$\text{con } H = \left(b^2 \left(1 + \frac{1}{n_x} \right) - k^2 \right) > 0$$

Entonces, a partir de las expresiones anteriores, podemos examinar la respuesta de los niveles de producción y del precio de x con respecto al impuesto ambiental. Por lo tanto, se obtiene:

$$\frac{\partial x}{\partial \tau} = \frac{1}{H} (-b + k) < 0 \quad (9a)$$

$$\frac{\partial y}{\partial \tau} = \frac{1}{H} \left(-b \left(1 + \frac{1}{n_x} \right) + k \right) < 0 \quad (9b)$$

$$\frac{\partial P_x}{\partial \tau} = \frac{1}{H} (b^2 - k^2 + bk) > 0 \quad (9c)$$

4. Diseño de política

En este aspecto se asume que el gobierno puede asignar un valor monetario a los costos sociales generados por la contaminación. Por lo tanto, si $D(e) = 1/2 me^2$, con $e = e_x + e_y$, representa el daño ambiental (en términos monetarios), podemos expresar la función agregada de bienestar social, SW ,

como la suma de: *i*) el excedente de los consumidores, *ii*) los beneficios de la industria nacional y *iii*) los ingresos del gobierno (es decir, $GR = \tau e$), menos *iv*) el daño ambiental. Entonces, reemplazando por las respectivas expresiones, usando (5b), (7a) y (7b), obtenemos:^{12, 13}

$$SW = U(x, y) - c_x x - c_y y - \left(\frac{1}{\gamma_y} + \frac{1}{2} \frac{n_x}{\gamma_x} \right) \tau^2 - \frac{1}{2} m \left(x + y - \tau \left(\frac{1}{\gamma_y} + \frac{n_x}{\gamma_x} \right) \right)^2 \quad (10)$$

Girando al análisis del impuesto ambiental que le permite al gobierno maximizar el bienestar social, tenemos que, en el *first-stage game*, el gobierno elige el nivel de τ que maximiza $SW(\tau)$, como es definido en (10), reconociendo que x , y , r_x^j y r_y dependen de τ . De (10), el efecto sobre SW de un pequeño cambio en τ está dado por

$$\begin{aligned} \frac{\partial SW}{\partial \tau} = & \left[P_x - \left(c_x + m \left(x + y - \tau \left(\frac{1}{\gamma_y} + \frac{n_x}{\gamma_x} \right) \right) \right) \right] \frac{\partial x}{\partial \tau} \\ & + \left[\tau - m \left(x + y - \tau \left(\frac{1}{\gamma_y} + \frac{n_x}{\gamma_x} \right) \right) \right] \frac{\partial y}{\partial \tau} \\ & - \tau \left(\frac{2}{\gamma_y} + \frac{n_x}{\gamma_x} \right) + \left(\frac{1}{\gamma_y} + \frac{n_x}{\gamma_x} \right) m \left(x + y - \tau \left(\frac{1}{\gamma_y} + \frac{n_x}{\gamma_x} \right) \right) \end{aligned} \quad (11)$$

Utilizando (5a) para sustituir en (11), obtenemos el resultado que $\partial SW / \partial \tau = 0$ cuando $\tau = \tau^*$, donde

$$\tau^* = - \frac{xb}{n_x} \frac{\partial x / \partial \tau}{R_2} + m(x + y) \frac{R_1}{R_2} \quad (12)$$

$$\text{con } R_1 = \left(\frac{\partial x}{\partial \tau} + \frac{\partial y}{\partial \tau} - \left(\frac{1}{\gamma_y} + \frac{n_x}{\gamma_x} \right) \right) < 0$$

¹² Nótese que aunque es posible introducir un impuesto a los beneficios de las firmas extranjeras (esto es, $GR = \tau e + t^*(\tau^2/2\gamma_y)$, con $t^* < 0$ implicando un crédito fiscal), esto no afecta los principales resultados del análisis.

¹³ Nótese que como las firmas multinacionales generalmente giran sus beneficios económicos al país de origen, estos últimos no son incluidos en la función de bienestar social.

$$R_2 = \left[\left(\frac{1}{\gamma_y} + \frac{n_x}{\gamma_x} \right) (-1 + mR_1) + \frac{\partial x}{\partial \tau} + \frac{\partial y}{\partial \tau} - \frac{1}{\gamma_y} \right] < 0$$

La expresión anterior implica que la tasa ambiental óptima, τ^* , deberá contemplar las condiciones no-competitivas asociadas a la producción del bien nacional más el daño ambiental asociado a las emisiones generadas en la producción de ambos bienes. Esto es, el primer término (negativo) representa el llamado “efecto-producción”: un aumento en τ disminuye las ventas de las firmas nacionales y, por lo tanto, el bienestar dado que x es un bien para el cual el precio excede al costo marginal de producción (sin considerar la tasa ambiental), mientras que el segundo término representa al denominado “efecto polución”: un aumento en τ resulta en una reducción en el nivel de emisiones asociadas a la producción de ambos bienes y, por lo tanto, en un incremento del bienestar debido a la reducción en el daño ambiental. Por lo tanto, podemos concluir que la regulación óptima consiste en un impuesto-subsidio ambiental.

Es interesante subrayar la positiva respuesta de τ^* con respecto al número de firmas nacionales ($\lim_{n_x \rightarrow \infty} \tau > 0$). Detrás de este razonamiento subyace la idea de que a medida que el número de firmas nacionales aumenta y el mercado del bien x se vuelve más competitivo, el “efecto-producción” tiende a cero. Contrariamente, si el daño ambiental tiende a cero, la regulación óptima, como es bien sabido, representaría un subsidio a la producción del bien x .

II. CAMBIO TECNOLÓGICO EXÓGENO Y *SPILLOVERS* A NIVEL NACIONAL

En esta sección introducimos la posibilidad de que la casa matriz incurra en gastos de R&D, $\bar{\phi}_y$, que afecten los costos de producción y contaminación evitada de la firma subsidiaria.¹⁴ Además, aunque generalmente las economías en desarrollo carecen del suficiente *stock* de capital físico y humano para incurrir en gastos de absorción tecnológica, se considera la posibilidad de que existan *spillovers* tecnológicos en beneficio de las firmas naciona-

¹⁴ Nótese que los gastos en R&D por parte de la casa matriz pueden o no estar asociados a las restricciones ambientales de la economía nacional. No obstante, en general, es bastante improbable que dichos gastos sean función de las medidas de política ambiental establecidas en los países en desarrollo. Sin embargo, para el lector interesado, esto transformaría nuestro juego en un *three-stage game*, donde, aunque los costos en innovación no entrarían en la función de bienestar social, el gobierno actuaría en el *first-stage game* reconociendo que la los niveles de producción, abatimiento e innovación son función de la tasa ambiental (véase, por ejemplo, Ulph, 1996).

les.¹⁵ Ahora, aunque nuestro problema sigue siendo un *two-stage game*, podemos expresar las funciones de beneficios de las respectivas firmas como:

$$\Pi_x^j(x^j, r_x^j, \bar{\phi}_y) = P_x x^j - \left((c_x - \beta_x \bar{\phi}_y) x^j + \tau e_x^j + (\gamma_x - \beta_{r_x} \bar{\phi}_y) \frac{(r_x^j)^2}{2} \right) \quad (13)$$

$$\Pi_y(y, r_y, \bar{\phi}_y) = P_y y - \left((c_y - \beta_y \bar{\phi}_y) y + \tau e_y + (\gamma_y - \beta_{r_y} \bar{\phi}_y) \frac{(r_y)^2}{2} \right) \quad (14)$$

donde $\beta_i \in (0, 1)$, para $i = x, y, r_x, r_y$, con: $\beta_y > \beta_x$ y $\beta_{r_y} > \beta_{r_x}$

donde las condiciones de primer orden son similares a las obtenidas anteriormente con el agregado de los efectos tecnológicos directos, asociados a los términos $\beta_y \bar{\phi}_y$ y $\beta_{r_y} \bar{\phi}_y$, e indirectos (*spillovers*), asociados a los términos $\beta_x \bar{\phi}_y$ y $\beta_{r_x} \bar{\phi}_y$, sobre los respectivos costos de producción y de reducción de emisiones.

Finalmente, en el *first-stage game*, como en el caso precedente, el gobierno elige la tasa ambiental óptima, τ^{**} , reconociendo que x, y, r_x^j y r_y dependen de τ . Por lo tanto, a partir de la maximización de la función de bienestar social con respecto a τ , podemos expresar la tasa ambiental óptima como:

$$\tau^{**} = - \frac{xb}{n_x} \frac{\partial x / \partial \tau}{R_2^*} + m(x + y) \frac{R_1^*}{R_2^*} \quad (16)$$

$$\text{con: } R_1^* = \left(\frac{\partial x}{\partial \tau} + \frac{\partial y}{\partial \tau} - \left(\frac{1}{(\gamma_y - \beta_{r_y} \bar{\phi}_y)} + \frac{n_x}{(\gamma_x - \beta_{r_x} \bar{\phi}_y)} \right) \right) < 0$$

$$R_2^* = \left[\left(\frac{1}{(\gamma_y - \beta_{r_y} \bar{\phi}_y)} + \frac{n_x}{(\gamma_x - \beta_{r_x} \bar{\phi}_y)} \right) (-1 + mR_1^*) + \frac{\partial x}{\partial \tau} + \frac{\partial y}{\partial \tau} - \frac{1}{(\gamma_y - \beta_{r_y} \bar{\phi}_y)} \right] < 0^{16}$$

De (16), teniendo en cuenta que $\partial x / \partial \bar{\phi}_y \geq 0$, $\partial R_1^* / \partial \bar{\phi}_y < 0$, $\partial R_2^* / \partial \bar{\phi}_y < 0$ y $\partial y / \partial \bar{\phi}_y > 0$, con $\partial y / \partial \bar{\phi}_y > \partial x / \partial \bar{\phi}_y$ y $|R_2^* - R_1^*| > 0$, podemos expresar el efecto del cambio tecnológico sobre la tasa ambiental óptima como:

¹⁵ El tratamiento conceptual y analítico de los gastos de absorción tecnológica puede ser encontrado en Cohen y Levinthal (1990) y, por ejemplo, Frascatore (2006), respectivamente.

¹⁶ Nótese que el agregado de los efectos tecnológicos directos e indirectos en el sistema de ecuaciones formado por (3a), (3b) y (5a) no afecta el signo de las derivadas parciales.

$$\frac{\partial \tau^{**}}{\partial \bar{\phi}_y} = \underbrace{\left((+/-) + (+) \right)}_{\text{Variación en el efecto producción}} + \underbrace{\left((+) + (-) \right)}_{\text{Variación en el efecto polución}} \quad (17)$$

donde el primer término de la “variación en el efecto producción”, cuyo signo es indeterminado, muestra el resultado asociado al aumento (vía los *spillovers* tecnológicos) y disminución (vía la caída en la demanda del bien nacional como consecuencia de la disminución en c_y) en la producción del bien x , lo cual implica un aumento (disminución) en la tasa óptima en la medida que x aumente (disminuya) y , por consiguiente, disminuya (aumente) la pérdida de bienestar social asociada a las condiciones no-competitivas del sector; mientras que el segundo término, positivo, muestra el efecto positivo que tiene sobre la producción de x la caída en los costos de abatimiento locales y extranjeros, lo cual disminuiría el valor de la tasa ambiental, sin considerar la variación en la producción del bien y , y, por consiguiente, el monto del subsidio al sector nacional.¹⁷ Asimismo, si tomamos la “variación en el efecto polución”, encontramos que el primer término, muestra el efecto positivo que tiene sobre la tasa óptima el aumento en el nivel de emisiones totales, mientras que el segundo término, muestra el efecto negativo del aumento en el nivel de contaminación evitada sobre la tasa óptima. De lo anterior, podemos concluir, que el efecto de un cambio tecnológico sobre el nivel de la tasa óptima es indeterminado, es decir, $\partial \tau^{**} / \partial \bar{\phi}_y \geq < 0$, y, por consiguiente, que $\tau^{**} \geq < \tau^*$.

CONCLUSIONES

El artículo analiza la determinación de la regulación ambiental óptima cuando existe la posibilidad de que tanto firmas nacionales como trasnacionales puedan coexistir en una determinada industria. El mismo analiza dicha política cuando los bienes producidos por ambos tipos de firmas son considerados sustitutos imperfectos y, además, existen condiciones no-competitivas y competitivas en relación con el comportamiento de mercado de las firmas nacionales y extranjeras respectivamente. Los resultados obtenidos muestran que dicha política constituye un impuesto-subsidio ambiental, dependiendo de las magnitudes de un “efecto producción”, con conse-

¹⁷ Nótese que el efecto del primer término sobre la política ambiental óptima se puede apreciar directamente del análisis de $\partial x / \partial \bar{\phi}_y$.

cuencias negativas sobre el bienestar social, y de un “efecto polución”, con consecuencias positivas sobre el mismo. Además, cuando introducimos la posibilidad de un cambio tecnológico exógeno, determinado por las casas matrices de las empresas extranjeras, el cual genera *spillovers* en beneficio de las firmas nacionales, encontramos que la nueva tasa ambiental (con progreso tecnológico) puede ser mayor, igual o menor que la mencionada anteriormente (sin progreso tecnológico), implicando, por lo tanto, un comportamiento incierto de éste con respecto al nivel óptimo de la tasa ambiental.

Por último, es bueno remarcar que el trabajo puede ser extendido en distintas formas entre las cuales podemos citar la posibilidad de que las firmas nacionales puedan incurrir en gastos de absorción tecnológica, que el gobierno determine su regulación óptima en un marco de información incompleta, que las firmas presenten una estructura de costos heterogénea, etcétera.

APÉNDICE

1. Obtención de ecuación (11)

De (10):

$$\begin{aligned} \frac{\partial SW}{\partial \tau} = & \frac{\partial U}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial \tau} + \frac{\partial U}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial \tau} - c_x \frac{\partial x}{\partial \tau} - c_y \frac{\partial y}{\partial \tau} - \left(\frac{2}{\gamma_y} + \frac{n_x}{\gamma_x} \right) \tau - m \left(x + y - \tau \left(\frac{1}{\gamma_y} + \frac{n_x}{\gamma_x} \right) \right) \frac{\partial x}{\partial \tau} \\ & - m \left(x + y - \tau \left(\frac{1}{\gamma_y} + \frac{n_x}{\gamma_x} \right) \right) \frac{\partial y}{\partial \tau} + m \left(x + y - \tau \left(\frac{1}{\gamma_y} + \frac{n_x}{\gamma_x} \right) \right) \left(\frac{1}{\gamma_y} + \frac{n_x}{\gamma_x} \right) \end{aligned}$$

donde, a partir de (2), (3a), y (3b), obtenemos que $\partial U/\partial x = P_x$ y $\partial U/\partial y = P_y$, entonces reemplazando y utilizando (7a) obtenemos:

$$\begin{aligned} \frac{\partial SW}{\partial \tau} = & \left[P_x - \left(c_x + m \left(x + y - \tau \left(\frac{1}{\gamma_y} + \frac{n_x}{\gamma_x} \right) \right) \right) \right] \frac{\partial x}{\partial \tau} + \left[\tau - m \left(x + y - \tau \left(\frac{1}{\gamma_y} + \frac{n_x}{\gamma_x} \right) \right) \right] \frac{\partial y}{\partial \tau} \\ & - \tau \left(\frac{2}{\gamma_y} + \frac{n_x}{\gamma_x} \right) + \left(\frac{1}{\gamma_y} + \frac{n_x}{\gamma_x} \right) m \left(x + y - \tau \left(\frac{1}{\gamma_y} + \frac{n_x}{\gamma_x} \right) \right) \end{aligned}$$

2. Obtención de ecuación (12)

Igualando (11) a cero, y utilizando (5a), obtenemos:

$$\tau \left(\frac{\partial x}{\partial \tau} + \frac{\partial y}{\partial \tau} + m \left(\frac{1}{\gamma_y} + \frac{n_x}{\gamma_x} \right) \frac{\partial x}{\partial \tau} + m \left(\frac{1}{\gamma_y} + \frac{n_x}{\gamma_x} \right) \frac{\partial y}{\partial \tau} - \left(\frac{2}{\gamma_y} + \frac{n_x}{\gamma_x} \right) - m \left(\frac{1}{\gamma_y} + \frac{n_x}{\gamma_x} \right) \left(\frac{1}{\gamma_y} + \frac{n_x}{\gamma_x} \right) \right) = -\frac{xb}{n_x} \frac{\partial x}{\partial \tau} + m(x+y)R_1$$

donde:

$$R_1 = \left(\frac{\partial x}{\partial \tau} + \frac{\partial y}{\partial \tau} - \left(\frac{1}{\gamma_y} + \frac{n_x}{\gamma_x} \right) \right) < 0$$

En consecuencia, podemos expresar la tasa ambiental óptima como:

$$\tau \left(m \left(\frac{1}{\gamma_y} + \frac{n_x}{\gamma_x} \right) R_1 + \frac{\partial x}{\partial \tau} + \frac{\partial y}{\partial \tau} - \left(\frac{1}{\gamma_y} + \frac{n_x}{\gamma_x} \right) - \frac{1}{\gamma_y} \right) = -\frac{xb}{n_x} \frac{\partial x}{\partial \tau} + m(x+y)R_1$$

de donde,

$$\tau = -\frac{xb}{n_x} \frac{\partial x/\partial \tau}{R_2} + m(x+y) \frac{R_1}{R_2}$$

$$\text{con: } R_2 = \left[\left(\frac{1}{\gamma_y} + \frac{n_x}{\gamma_x} \right) (-1 + mR_1) + \frac{\partial x}{\partial \tau} + \frac{\partial y}{\partial \tau} - \frac{1}{\gamma_y} \right] < 0$$

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cohen, W., y D. Levinthal (1990), "Absorptive Capacity: A New Perspective on Learning and Innovation", *Administrative Science Quarterly*, vol. 35, núm. 1, pp. 128-152.
- Cole, M., R. Elliott y P. Fredriksson (2006), "Endogenous Pollution Havens: Does FDI Influence Environmental Regulations?", *Scandinavian Journal of Economics*, vol. 108, núm. 1, pp. 157-178.
- D'Aspremont, C., y A. Jacquemin (1988), "Cooperative and Noncooperative R&D in Duopoly with Spillovers", *American Economic Review*, vol. 78, núm. 5, pp. 1133-1137.
- , y A. Jacquemin (1990), "Cooperative and Noncooperative R&D in Duopoly with Spillovers: Erratum", *American Economic Review*, vol. 80, núm. 3, pp. 641-642.

- Dietzenbacher, E., y K. Mukhopadhyay (2007), "An Empirical Examination of the Pollution Haven Hypothesis for India: Towards a Green Leontief Paradox?", *Environmental and Resource Economics*, vol. 36, núm. 4, pp. 427-449.
- Frascatore, M. (2006), "Absorptive Capacity in R&D Joint Ventures when Basic Research is Costly", *Topics in Economic Analysis and Policy*, vol. 6, núm. 1, pp.
- Levinson, A. y M. S. Taylor (2008), "Unmasking the Pollution Haven Effect", *International Economic Review*, vol. 49, núm. 1, pp. 223-254.
- Markusen, J. (1997), "Costly Pollution Abatement, Competitiveness and Plant Location Decisions", *Resource and Energy Economics*, núm. 19, vol. 4, pp. 299-320.
- , E. Morey y N. Olewiler (1995), "Competition in Regional Environmental Policies When the Plant Locations are Endogenous", *Journal of Public Economics*, vol. 56, núm.1, pp. 55-77.
- Sampaolesi, A. (2010), "Optimal Pollution Tax under Imperfect Competition and International Trade: the Small Country Case", *Environment and Development Economics*, vol. 15, núm. 5, pp. 505-514.
- Ulph, A. (1996), "Environmental Policy and International Trade when Governments and Producers Act Strategically", *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 30, núm. 3, pp. 265-281.