



EL COLEGIO DE MÉXICO
CENTRO DE ESTUDIOS ECONÓMICOS

MAESTRÍA EN ECONOMÍA

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN ECONOMÍA

**POLÍTICA AMBIENTAL BAJO COMPETENCIA IMPERFECTA EN EL
COMERCIO INTERNACIONAL Y CONTAMINACIÓN GLOBAL**

DIANA NOHEMÍ JORDÁN GÓMEZ

PROMOCIÓN 2015-2017

ASESOR:

ADRIANA GAMA VELÁZQUEZ

JULIO, 2017

Agradecimientos

Sigo y seguiré agradeciendo por encontrarme siempre con buenas personas en mi camino.

Gracias,

A la profesora Adriana Gama por guiarme en la realización de este trabajo.

A mi familia por apoyarme siempre.

A Ely y a Víctor por permitirme compartir con ellos esta experiencia.

Política ambiental bajo competencia imperfecta en el comercio internacional y contaminación global

Resumen

La necesidad de tomar acciones encaminadas a frenar los efectos negativos de la contaminación es un tema cada vez más recurrente en el ámbito internacional. Sin embargo, la existencia de barreras a la adopción de políticas regulatorias eficientes tales como la presencia de asimetrías en la información, riesgo moral o incentivos regulatorios perversos (Stern, 2007), dificultan la consecución de las metas que se plantean en materia de reducción de emisiones.

En este contexto, en el presente documento se realiza una comparación entre una política regulatoria local y una internacional a manera de observar cuál es más efectiva en el sentido de lograr una mayor reducción de la contaminación emitida, así como la manera en que interactúan los distintos agentes involucrados en cada una de ellas.

Se parte de una situación de competencia imperfecta en el comercio internacional. En particular, se considera que dos empresas localizadas en países distintos compiten en cantidad para proveer de un insumo a una tercera empresa localizada en otro país, en la que se produce y se vende el bien final. En el proceso de producción del insumo se emite una importante cantidad de contaminación que causa un daño ambiental global; esto es, las emisiones realizadas en un país no sólo causan daño en el mismo, sino que el daño se traslada al resto de países. Debido a lo anterior las empresas productoras del insumo son reguladas a través de una cuota máxima de emisiones.

Se resaltan los siguientes hallazgos. En primer lugar, se generaliza el resultado encontrado por Barrett (1994) acerca de que, bajo competencia imperfecta y contaminación local, cuando dos países compiten en el comercio internacional tienen incentivos a relajar su política ambiental como una manera de subsidiar a sus industrias, para el caso en el que se considera que la con-

taminación es global.

En segundo lugar, se analiza el escenario en el que la regulación ambiental es fijada en el ámbito internacional a través de la maximización del bienestar global. Se observa que, en el contexto planteado, una regulación internacional que toma en cuenta el carácter global de la contaminación, no necesariamente implica una reducción en la emisión de contaminantes.

Índice

1. Introducción	1
2. El modelo	6
2.1. Competencia en cantidad	7
2.2. Regulación local	8
2.2.1. Regulación local eficiente	9
2.2.2. Regulación local estratégica	10
2.3. Regulación internacional	12
3. Ejemplo	15
4. Conclusiones	22
5. Anexos	24

1. Introducción

La emisión de contaminantes como resultado de la actividad humana ha traído consigo importantes efectos negativos, exponiendo a la población, a los sectores económicos y a los ecosistemas a ciertos riesgos (IPCC, 2014). Específicamente, el cambio climático, causado por la acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera, es uno de los principales retos que enfrenta la población mundial.

En su mayoría, las políticas públicas orientadas a combatirlo se enfocan en dos tareas principales: el establecimiento de instrumentos regulatorios¹ que permitan controlar la emisión de contaminantes y la promoción de actividades de investigación y desarrollo (I+D) orientadas a la creación de tecnologías limpias.

Respecto al primer punto, Stern (2007) señala que los mecanismos orientados a la mitigación del cambio climático deben tener las siguientes características: ser efectivos, en el sentido de que las medidas adoptadas deben realizarse en la escala requerida; eficientes, en términos de costos; y equitativos, en cuanto a que la responsabilidad y los costos deben ser asignados de manera que se tome en cuenta la riqueza, la habilidad y la responsabilidad histórica de los agentes involucrados.

Sin embargo, las implicaciones económicas de implementar este tipo de medidas, tales como los costos que éstas representan para los consumidores, las empresas y los gobiernos, así como la existencia de asimetrías en la información, riesgo moral o incentivos regulatorios perversos (Stern, 2007), dificultan la adopción de políticas regulatorias que cumplan con las características antes señaladas.

Particularmente, una de las cuestiones que dificultan que las medidas para la mitigación del cambio climático sean equitativas radica en la falta de consenso respecto a la distribución de la

¹El problema de la contaminación es equivalente a un problema de divergencia entre costos privados y costos sociales o bien un problema de existencia de externalidades, por lo que una solución es "internalizar" dichas externalidades; esto es, encontrar un mecanismo que permita igualar los costos privados y los sociales, por ejemplo a través de políticas regulatorias (Lewin, 1982).

responsabilidad entre los distintos agentes involucrados. Pues, si bien es aceptado que el carácter global de este fenómeno requiere de la cooperación internacional (Stern, 2007), no queda claro en qué ámbito deben surgir las iniciativas para combatirlo.

Tal como señalan Bechtel y Urpelainen (2015), mientras algunos investigadores recomiendan que las iniciativas surjan en el ámbito internacional, la experiencia muestra que la cooperación internacional ocurre en entornos en los cuales las autoridades sub-nacionales pueden establecer sus propias medidas regulatorias. Así, de acuerdo con estos autores, las políticas para la conservación del medio ambiente surgen de iniciativas locales que posteriormente influyen en la posición que un país adopta en la negociación de acuerdos internacionales.

Lo anterior pone en relieve la importancia de analizar los incentivos involucrados en la toma de decisiones de los gobiernos sub-nacionales y nacionales. En particular, se consideran los aspectos involucrados al fijar una regulación en materia ambiental en un contexto de libre comercio bajo competencia imperfecta, debido a que la literatura existente señala que en este entorno emergen algunos incentivos regulatorios perversos.

Concretamente, tal como señalan Ludema y Wooton (1994), la política ambiental puede convertirse en un instrumento estratégico de política comercial, por lo que varios autores han analizado la relación entre la búsqueda de competitividad en el comercio internacional y la conservación del medio ambiente, destacando los siguientes hallazgos.

En primer lugar, cuando se considera que la contaminación no es global², puede haber un incremento en los impuestos ambientales de equilibrio debido a que cada país intenta transferir su producción y la contaminación que ésta conlleva a otros países, efecto denominado por Kennedy (1994) como *pollution-shifting effect*.

En segundo lugar, partiendo de la idea planteada por Brander y Spencer (1985) acerca de que los

²Se dice que la contaminación es global cuando los efectos negativos de los contaminantes emitidos en determinado país se trasladan hacia otros países.

subsidios a las exportaciones permiten a las empresas domésticas mejorar su posición relativa respecto a empresas extranjeras al permitirles expandir su cuota de mercado; y, considerando que los impuestos a las emisiones pueden ser usados para subsidiar indirectamente las exportaciones (Requate, 2005), los gobiernos tienen incentivos para reducir los impuestos ambientales con el propósito de mejorar su posición en el comercio internacional, efecto conocido como *rent capture effect* (Kennedy, 1994).

Este último efecto ha sido ampliamente analizado en la literatura sobre regulación ambiental bajo distintos supuestos, ya sea sobre el tipo de competencia considerada, respecto a qué agentes presentan un comportamiento estratégico o sobre el alcance (local o global) de la externalidad causada por la emisión de contaminantes.

En lo que respecta al tipo de competencia, Barrett (1994) encuentra que los gobiernos tienen incentivos para imponer regulaciones ambientales débiles³ sobre industrias que compiten en mercados internacionales imperfectos sólo cuando se considera que dicha competencia es en cantidad; mientras que cuando se asume competencia en precios puede ser óptimo imponer una regulación ambiental más estricta. Cabe señalar que en el modelo propuesto por Barrett (1994) se considera que los efectos de la contaminación son únicamente locales.

Además, Barrett (1994) encuentra que imponer estándares ambientales débiles no es tan eficiente en términos de mejorar la competitividad como lo son los subsidios a la I+D o a las exportaciones. En este sentido, Conrad (1993), muestra a través de un modelo de oligopolio internacional con externalidades negativas en la producción, que en lugar de sub-internalizar el daño ambiental con el objetivo de capturar una mayor proporción del mercado mundial, los gobiernos pueden proveer subsidios, ya sea para insumos contaminantes altamente regulados o para promover el abatimiento de la contaminación, lo que puede ser justificado en términos ambientales en tanto que ayuda a mejorar la calidad del medio ambiente.

³De acuerdo con la regla de Pigou, el precio óptimo de la contaminación debe ser igual al daño marginal social, por lo que, considerando que las empresas competitivas igualan su costo marginal de abatimiento al precio de la contaminación, la política ambiental óptima es aquella en la que se iguala el daño marginal con el costo marginal de abatimiento (Requate, 2005), por lo que cualquier regulación que se aparta de esta regla al subestimar o sobreestimar el daño ambiental se considera débil o estricta, respectivamente.

Mientras Barrett (1994) y Conrad (1993) sólo consideran la posibilidad de comportamiento estratégico por parte de los gobiernos; Ulph (1996), usando formas funcionales específicas, también analiza los incentivos que existen para que las empresas se comporten de manera estratégica (a través de su decisión de inversión en I+D) bajo competencia en precios. Este autor encuentra, al igual que Barrett (1994), que cuando únicamente los gobiernos actúan estratégicamente, la política ambiental impuesta es estricta; cuando sólo los productores actúan de este modo, éstos sub-invierten en I+D; y, cuando tanto gobiernos como productores se comportan estratégicamente, la distorsión en la política ambiental se reduce.

Como se mencionó antes, el efecto sobre la regulación ambiental causado por la búsqueda de una mayor participación en el comercio internacional también se ha analizado tomando en cuenta el proceso de producción de un bien. Al respecto, Duval y Hamilton (2002) construyen un modelo en el cual un insumo contaminante se utiliza para producir un producto final que se comercia en el mercado internacional, permitiendo asimetrías en el consumo, la producción y el daño ambiental bajo una estructura de mercado oligopólica. Estos autores encuentran que, en el caso no cooperativo, impuestos ambientales ineficientemente altos pueden ser óptimos para un país que es exportador neto, debido a que el incentivo para imponer una tasa impositiva baja para capturar una mayor proporción del mercado internacional puede ser contrarrestado por el incentivo para desplazar la carga del impuesto a los consumidores extranjeros.

En la misma línea, Hamilton y Requate (2004) analizan la política ambiental en un modelo que incluye de manera explícita la estructura vertical que soporta la producción de bien que se comercia internacionalmente, encontrando que cuando se permiten relaciones verticales intranacionales, el impuesto óptimo a la contaminación es el impuesto de Pigou, tanto bajo competencia en cantidad como en precios.

En general, la literatura mencionada resalta algunos puntos que son la motivación del presente documento. Se destaca el efecto que la búsqueda de una mejor posición en el comercio internacional tiene sobre la regulación ambiental en mercados de competencia imperfecta; además,

se resalta que las relaciones establecidas entre los productores de los insumos necesarios para producir un bien y los productores del bien final es relevante al momento de establecer la política ambiental.

En este contexto, el objetivo de este trabajo de investigación es analizar la regulación ambiental óptima, en términos de reducción de emisiones, considerando una situación en la que el proceso de producción de un bien es global. Específicamente, se considera la producción de un bien que requiere de un insumo contaminante. La producción del insumo se realiza en dos países, mientras que la producción del bien final se realiza en un tercer país; esto es, la producción del insumo se modela como un duopolio en el que las empresas productoras compiten en cantidad para proveer de dicho insumo al productor del bien final que se considera es un monopolio.

El instrumento regulatorio considerado es una cuota máxima de emisiones o *emission standard*. Si bien hay una preferencia por el uso de instrumentos regulatorios basados en el funcionamiento del mercado, como es el caso de los impuestos a las emisiones o los permisos comerciables, debido a que estos permiten la obtención de un resultado socialmente óptimo (la igualación del costo marginal de daño con el costo marginal de abatimiento) de manera descentralizada (Requate, 2005), ambos tipos de instrumentos permiten alcanzar objetivos específicos en términos de reducción de emisiones. Así, dado que el presente análisis se enfoca únicamente en la necesidad de reducir la emisión de contaminantes como una de las principales medidas para combatir el cambio climático, se considera que el uso de una cuota máxima de emisiones tiene una interpretación más directa.

Se plantean los siguientes escenarios. En el primero, en la etapa inicial los gobiernos de los países en los que se produce el insumo fijan su política ambiental de manera individual; y, posteriormente, las empresas productoras del insumo compiten en cantidad. El segundo escenario difiere del primero en la primera etapa, pues en este se considera que el gobierno del país en el que se localiza la empresa productora del bien final fija una regulación sobre el contenido total de emisiones del producto, dado por las emisiones que se realizan al producir el insumo contaminante.

Particularmente, con el primer escenario planteado se busca generalizar la proposición realizada por Barrett (1994) acerca de que bajo competencia en cantidad existe un incentivo a sub-regular, al caso en el que se considera que los efectos de la contaminación son globales. Mientras que mediante la comparación de ambos escenarios, se busca observar bajo qué condiciones una regulación conjunta a través de la maximización del bienestar global permite alcanzar un mejor resultado en términos de reducción de emisiones, en comparación con una regulación ambiental elegida de manera unilateral.

2. El modelo

El escenario que se plantea es el siguiente. Se considera la producción de un bien que requiere de un insumo contaminante. Las empresas involucradas en el proceso de producción se localizan en tres países distintos: en dos de ellos se produce el insumo (empresas 1 y 2) y en el tercero se produce y se vende el bien final (empresa 3).

La tecnología de la empresa i ($i = 1, 2, 3$) esta representada por la función de costos $C^i(q^i)$, donde q^i es la cantidad producida. Denotando las derivadas con subíndices, se asume que $C_q^i > 0$. Dado el precio del insumo, la empresa i ($i = 1, 2$) tiene un ingreso dado por $R^i(q^1, q^2)$, con $R_{q^i}^i > 0$ y $R_{q^i}^j < 0$.

Debido a que en el proceso de producción del insumo se emite una importante cantidad de contaminantes, estas empresas son reguladas a través de una cuota máxima de emisiones e^i , que implica un daño al ambiente para el país donde se localiza la empresa i representado por $D^i(e^i + \lambda e^j)$ para $i, j = 1, 2$ con $i \neq j$ y de $D^3(\lambda(e^1 + e^2))$ para el país donde se produce el bien final, con $\lambda \in [0, 1]$. Como se puede observar, esta función de daño incluye el caso en el que la contaminación es únicamente local cuando $\lambda = 0$ y cuando ésta es completamente global ($\lambda = 1$), esto es, toda la contaminación emitida en un país se traslada a los demás.

Se asume que $D_e^i > 0$ con $i = 1, 2, 3$, lo que refleja el hecho de que el daño ambiental es creciente

en el nivel de emisiones permitidas.

Además de los costos asociados a sus factores de producción, si una empresa rebasa el nivel de emisiones máximo permitido debe abatir el exceso incurriendo en un costo de abatimiento dado por $A^i(q^i, e^i)$, con $A_q^i > 0$ que implica que el costo de abatimiento crece a medida que aumenta la cantidad producida y $A_e^i < 0$ que refleja el hecho de que una mayor cuota máxima de emisiones permite a las empresas dejar una mayor cantidad de contaminación sin abatir y por tanto no incurrir en costos.

El juego que se plantea consta de dos etapas. En la primera etapa se fija la cuota máxima de emisiones y en la segunda las empresas productoras del insumo compiten en cantidad para proveer a la empresa productora del bien final. Respecto a la primera etapa se plantean dos escenarios posibles: en uno de ellos la cuota máxima de emisiones es elegida por los gobiernos de los países en los que se produce el insumo; mientras que en el otro, la decisión es tomada por el país en el que se produce y se vende el bien final.

Respecto al primer escenario se consideran dos posibles situaciones: los gobiernos de los países en los que se produce el insumo pueden elegir su cuota máxima de emisiones considerando únicamente que su decisión impacta sobre la decisión de producción de la empresa que se localiza en su territorio (regulación local eficiente); o bien, tomando en cuenta que su decisión también repercute en el nivel de producción elegido por la empresa localizada en el país rival (regulación local estratégica).

A continuación se resuelve el juego para ambos escenarios por inducción hacia atrás.

2.1. Competencia en cantidad

En la segunda etapa de ambos escenarios, las empresas 1 y 2 eligen su producción de manera que se maximice su beneficio (Π^1 y Π^2 , respectivamente), tomando como dadas las cuotas máximas de emisiones impuestas. Es decir, la empresa i resuelve:

$$\max_{q^i} \{ \Pi^i = R^i(q^1, q^2) - C^i(q^i) - A^i(q^i, e^i) \}$$

La condición de primer orden está dada por (por simplicidad no se escriben los argumentos):

$$\Pi_{q^i}^i = R_{q^i}^i - C_{q^i}^i - A_{q^i}^i = 0$$

Mientras que la condición de segundo orden para asegurar un máximo es:

$$\Pi_{q^i q^i}^i = R_{q^i q^i}^i - C_{q^i q^i}^i - A_{q^i q^i}^i < 0$$

Además, como es bien sabido en la literatura (por ejemplo ver Barrett (1994)), las siguientes condiciones aseguran que las funciones de reacción tienen pendiente negativa y que el equilibrio es estable, respectivamente:

$$R_{q^i q^j}^i < 0$$

$$\Pi_{q^i q^i}^i \Pi_{q^j q^j}^j - \Pi_{q^i q^j}^i \Pi_{q^j q^i}^j > 0$$

2.2. Regulación local

De acuerdo con Barrett (1994), bajo competencia en cantidad existe un incentivo por parte de los gobiernos a imponer regulaciones ambientales débiles sobre industrias que compiten en mercados internacionales imperfectos. Partiendo de la observación anterior, en esta sección se busca generalizar este resultado para el caso en el que la contaminación es global, esto es, ($0 < \lambda \leq 1$).

Para tal fin, se considera que en la primera etapa el gobierno del país i elige la cuota máxima de emisiones que maximiza su beneficio neto tomando como dada la cuota fijada por el país rival.

Puesto que el producto final no se consume en los países en los que se produce el insumo, el beneficio neto está dado por el excedente de la empresa productora del insumo menos el costo de daño ambiental. Esto es, el gobierno del país i resuelve:

$$\max_{e^i} \left\{ BN^i = \Pi^i(q^1, q^2, e^i) - D^i(e^i + \lambda e^j) \right\} \quad (2.1)$$

Donde:

$$\Pi^i = R^i(q^1, q^2) - C^i(q^i) - A^i(q^i, e^i)$$

A continuación se analiza la solución del problema de maximización anterior bajo las dos situaciones posibles.

2.2.1. Regulación local eficiente

Los gobiernos únicamente toman en cuenta que su elección impacta sobre la cantidad producida por la empresa localizada en su territorio, por lo que la condición de primer orden del problema planteado en (2.1) está dada por:

$$BN_e^i = \Pi_{q^i}^i \frac{dq^i}{de^i} + \Pi_e^i - D_e^i = 0, \quad \text{para } i = 1, 2.$$

Considerando que $\Pi_{q^i}^i = 0$ por el problema de optimización de la empresa y que $\Pi_e^i = -A_e^i$, la condición anterior se puede escribir como:

$$BN_e^i = -A_e^i - D_e^i = 0$$

Además, la condición de segundo orden de (2.1) es:

$$BN_{ee}^i = -A_{ee}^i - D_{ee}^i < 0$$

Para la estabilidad del equilibrio se requiere que se cumpla la siguiente condición (ver Barrett (1994) para los detalles):

$$BN_{q^i q^i}^i BN_{q^j e}^j BN_{e q^j}^j + BN_{q^i q^j}^i BN_{q^j q^i}^j BN_{e e}^j - BN_{q^i q^i}^i BN_{q^j q^j}^j BN_{e e}^j > 0$$

De la condición de primer orden se obtiene la cuota máxima de emisiones \tilde{e}^i , en donde la regulación local eficiente de cada gobierno iguala el costo marginal de abatimiento con el daño marginal local.

2.2.2. Regulación local estratégica

Cuando el gobierno del país i , toma en cuenta que su elección también impacta sobre las decisiones tomadas por la empresa localizada en país rival, resuelve:

$$\max_{e^i} \left\{ BN^i = \Pi^i(q^1, q^2, e^i) - D^i(e^i + \lambda e^j) \right\}$$

Sujeto a las condiciones de primer orden del problema de maximización del país j , considerando que éste no actúa de manera estratégica:

$$\Pi_{q^j}^j = R_{q^j}^j - C_q^j - A_q^j = 0,$$

$$BN_e^j = -A_e^j - D_e^j = 0$$

La condición de primer orden está dada por:

$$BN_e^i = \Pi_{q^i}^i \frac{dq^i}{de^i} + \Pi_{q^j}^i \frac{dq^j}{dq^i} \frac{dq^i}{de^i} + \Pi_e^i - D_e^i = 0,$$

la cual nos da la cuota máxima de emisiones bajo comportamiento estratégico \hat{e}_i .

Dado que la firma i elige $\Pi_{q^i}^i = 0$, el primer término de la condición de primer orden es cero, por lo que el sentido del efecto de la consideración del problema de la empresa del país rival sobre la regulación ambiental local, depende del signo del segundo término. En el anexo 1 se demuestra que:

$$\Pi_{q^j}^i \frac{dq^j}{dq^i} \frac{dq^i}{de^i} > 0,$$

entonces con la cuota máxima de emisiones establecida bajo comportamiento estratégico, el costo marginal de abatimiento será menor que el daño local.

Lo anterior permite plantear la siguiente:

Proposición 1. En un contexto de regulación local bajo contaminación global, los gobiernos tienen incentivos a imponer una cuota máxima de emisiones más débil en comparación con la regulación eficiente. Esto es, $\hat{e}_i > \tilde{e}_i$ para q^i dado.

Ahora, cuando los dos países actúan estratégicamente el equilibrio está dado por (ver anexo 2):

$$BN_e^i = \frac{\Pi_{q^j}^i \Pi_{q^j q^i}^j \Pi_{q^i}^i}{-\left(\Pi_{q^i q^i}^i \Pi_{q^j q^j}^j - \Pi_{q^i q^j}^i \Pi_{q^j q^i}^j\right)}$$

Es posible notar que $BN_e^i < 0$. Por lo tanto, dado que $BN_{ee}^i < 0$, es posible afirmar que:

Proposición 2. En equilibrio, en un contexto de regulación local bajo contaminación global, la cuota máxima de emisiones impuesta por ambos países bajo comportamiento estratégico es mayor que la cuota máxima de emisiones bajo la regulación eficiente, $\hat{e}_i > \tilde{e}_i$.

Con la proposiciones 1 y 2 se generaliza el resultado expuesto por Barrett (1994) para el caso en el que se considera que el daño causado por la contaminación es global.

2.3. Regulación internacional

Bajo esta regulación se elige la cuota máxima de emisiones que maximiza el bienestar global, dado por la suma del beneficio neto de todos los países involucrados. Puesto que el bien final se produce y se vende sólo en el país 3, el beneficio neto de este país está dado por el excedente del consumidor más el excedente del productor menos el daño ambiental causado por la contaminación emitida en los países 1 y 2 en el proceso de producción del insumo.

Sea $P(Q)$ la función inversa de demanda del bien final, con $Q = f(q^1 + q^2)$, el excedente del consumidor está dado por:

$$\int_0^Q P(X) dX - PQ$$

Mientras que el excedente del productor es:

$$PQ - C^3(Q) - R^1(q^1, q^2) - R^2(q^1, q^2)$$

Donde $C^3(Q)$ son otros costos asociados con la producción del bien final distintos a los relacionados con la compra del insumo, que son iguales a los ingresos de las empresas 1 y 2.

Por lo tanto el bienestar en el país 3 es:

$$BN^3 = \int_0^Q P(X) dX - C^3(Q) - R^1(q^1, q^2) - R^2(q^1, q^2) - D^3(\lambda(e^1 + e^2))$$

Tomando en cuenta lo anterior, la regulación internacional establece la cuota máxima de emi-

siones para el país i resolviendo:

$$\begin{aligned} \max_{e^1, e^2} BN^G = & -C^1(q^1) - A^1(q^1, e^1) - D^1(e^1 + \lambda e^2) - C^2(q^2) - A^2(q^2, e^2) - D^2(e^2 + \lambda e^1) \\ & + \int_0^Q P(X) dX - C^3(Q) - D^3(\lambda(e^1 + e^2)) \end{aligned}$$

Las condiciones de primer orden del problema anterior son:

$$BN_{e^i}^G = -C_q^i \frac{dq^i}{de^i} - A_q^i \frac{dq^i}{de^i} - A_e^i - D_e^i - C_q^j \frac{dq^j}{dq^i} \frac{dq^i}{de^i} - A_q^j \frac{dq^j}{dq^i} \frac{dq^i}{de^i} - \lambda D_e^j + PQ_{e^i} - C_Q^3 Q_{e^i} - \lambda D_e^3 = 0,$$

para $i = 1, 2$.

O bien, tomando en cuenta que las empresas establecen $\Pi_{q^i}^i = 0$, la condición anterior se puede reescribir como:

$$-R_{q^i}^i \frac{dq^i}{de^i} - A_e^i - D_e^i - R_{q^j}^j \frac{dq^j}{dq^i} \frac{dq^i}{de^i} - \lambda D_e^j + PQ_{e^i} - C_Q^3 Q_{e^i} - \lambda D_e^3 = 0,$$

para $i = 1, 2$.

De donde se obtiene la cuota máxima de emisiones permitida bajo la regulación internacional, \bar{e}^i .

A fin de comparar la expresión anterior con las condiciones de primer orden bajo las regulaciones locales, se toma como punto de referencia la condición de primer orden de la regulación local eficiente que considera que la función de beneficio neto del país se maximiza cuando $BN_e^i = -A_e^i - D_e^i = 0$.

Dada la comparación establecida en la sección anterior entre la regulación local eficiente y la local estratégica y tomando en cuenta la condición de primer orden bajo la regulación interna-

cional se observa lo siguiente.

Lema 1. La regulación internacional será más estricta que la local estratégica siempre que:

$$-R_{q^i}^i \frac{dq^i}{de^i} - R_{q^j}^j \frac{dq^j}{dq^i} \frac{dq^i}{de^i} - \lambda D_e^j + PQ_{e^i} - C_Q^3 Q_{e^i} - \lambda D_e^3 < R_{q^j}^i \frac{dq^j}{dq^i} \frac{dq^i}{de^i}$$

Esta condición indica que para que la regulación internacional sea más efectiva que la regulación local estratégica, en términos de reducción de emisiones, los efectos directos de un cambio en la cuota máxima de emisiones permitida en el país i , tanto sobre los ingresos de las empresas como sobre el daño ambiental, deben ser menores al impacto que dicho cambio tiene sobre el ingreso de la empresa local como resultado del impacto sobre la producción de la empresa rival.

Por otro lado, se observa que:

Lema 2. La regulación internacional será igual o más estricta que la regulación local eficiente siempre que:

$$PQ_{e^i} - R_{q^i}^i \frac{dq^i}{de^i} < R_{q^j}^j \frac{dq^j}{dq^i} \frac{dq^i}{de^i} + \lambda D_e^j + C_Q^3 Q_{e^i} + \lambda D_e^3$$

Como se puede observar, para que la regulación internacional sea más estricta que la regulación local eficiente, es necesario que la ganancia neta asociada a un aumento en la cuota máxima de emisiones permitida en el país i , dada por el aumento en el excedente del consumidor menos el aumento en el ingreso de la empresa local, sea menor que los costos que implica dicho cambio en la regulación, dados por la reducción en el ingreso de la empresa localizada en el país rival, más el aumento en los costos de la empresa productora del bien final como resultado del aumento en su producción, además del aumento del daño ambiental.

Finalmente, resolviendo para el equilibrio de Nash (ver anexo 3), se tiene que:

$$BN_e^1 = \left(R_{q^1}^1 - R_{q^2}^2 \frac{\Pi_{q^2 q^1}^2}{\Pi_{q^2 q^2}^2} \right) \left(\frac{\Pi_{q^1 e}^1 \Pi_{q^2 q^2}^2}{\Pi_{q^1 q^1}^1 \Pi_{q^2 q^2}^2 - \Pi_{q^1 q^2}^1 \Pi_{q^2 q^1}^2} \right) - \lambda D_e^2 + PQ_{e^1} - C_Q^3 Q_{e^1} - \lambda D_e^3$$

Se observa que el signo de la expresión anterior puede ser negativo o positivo, lo que indicaría que la cuota máxima de emisiones permitida con la regulación internacional sería mayor o menor que la establecida con la regulación local eficiente, por lo que se puede concluir que:

Proposición 5. En equilibrio, en un contexto de regulación local bajo contaminación global, la cuota máxima de emisiones impuesta bajo la regulación internacional puede ser mayor o menor que la cuota máxima de emisiones bajo las regulaciones locales eficiente y estratégica, $\bar{e}_i \cong \tilde{e}_i$ y $\bar{e}_i \cong \hat{e}_i$, con $\tilde{e}_i < \hat{e}_i$.

Así, como es posible observar, en el contexto planteado una regulación internacional que toma en cuenta el carácter global de la contaminación y que se elige de manera que se maximice el bienestar global, no necesariamente implica una reducción en la emisión de contaminantes.

3. Ejemplo

En esta sección se incluye un ejemplo que ilustra los resultados presentados considerando formas funcionales específicas, tal como lo hace Ulph (1996), que permite observar de manera explícita las distintas fuerzas involucradas en la regulación ambiental en cada uno de los escenarios propuestos.

Particularmente, se ilustra cómo un cambio en la elasticidad de la demanda del bien final modifica las condiciones bajo las cuales la regulación internacional es más estricta que la regulación local estratégica e incluso que la local eficiente. Las funciones de demanda consideradas son $P_1(Q) = A - \frac{Q}{4}$ y $P_2(Q) = A - Q$, con $A > 0$, donde P_k (con $k = 1, 2$) es el precio del bien y Q es la cantidad producida del bien final, dada una función de producción que requiere de una unidad

de insumo por unidad de producto final.

Además, se toma en cuenta que los únicos costos de producción de la empresa productora del bien final son los asociados a la adquisición del insumo contaminante, por lo que los costos de esta empresa son iguales a los ingresos de las dos empresas que producen el insumo.

La demanda que enfrentan las empresas productoras del insumo (empresas 1 y 2) es $P(q^1 + q^2) = A - q^1 - q^2$ con $A > 0$ ⁴. Para las funciones de abatimiento y de daño se consideran funciones cuadráticas, que permiten ilustrar el hecho de que tanto el costo de abatimiento como el daño ambiental son crecientes en el nivel de emisiones.

Se asume que cada unidad producida q^i implica la emisión de una unidad de contaminante, por lo que las emisiones totales de las empresas son iguales a su nivel de producción. Dado que la regulación ambiental limita la cantidad de emisiones que se pueden realizar, las empresas deben abatir el resto, $x^i = q^i - e^i$, incurriendo en un costo de abatimiento $C^i(x^i) = \frac{(x^i)^2}{2}$. Se considera que éstos son los únicos costos en que incurren las empresas.

Tomando en cuenta que las emisiones no abatidas causan un daño global al medio ambiente, la función de daño para los tres países es $D^i(E^i) = \frac{d(E^i)^2}{2}$ con $d > 0$, para $i, j = 1, 2, 3$. Donde E^i son las emisiones totales en el país i , con $E^i = e^i + \lambda e^j$ (para $i, j = 1, 2$ con $i \neq j$) y $E^3 = \lambda(e^1 + e^2)$.

A continuación se muestran los resultados de los juegos planteados para cada una de las formas de regulación consideradas: las regulaciones locales (eficiente y estratégica) y la regulación internacional, considerando en esta última las dos funciones de demanda del bien final antes mencionadas.

Como se mostró en el caso general, la etapa de competencia en cantidad entre las empresas productoras del insumo es la misma bajo los tres escenarios. La empresa i elige su cantidad q^i

⁴A modo de simplificar los resultados, se considera que la ordenada al origen de las funciones inversas de demanda del bien final y del insumo son iguales.

resolviendo:

$$\max_{q^i} \left\{ \Pi^i = (A - q^i - q^j) q^i - \frac{(q^i - e^i)^2}{2} \right\}$$

La condición de primer orden está dada por:

$$\Pi_{q^i}^i = A - 2q^i - q^j - q^i + e^i = 0$$

De la condición de primer orden se obtiene la función de reacción de la empresa i :

$$q^i(q^j) = \frac{A - q^j + e^i}{3}$$

Resolviendo para el equilibrio simétrico de Cournot se tiene que la cantidad producida por cada una de las empresas es:

$$q^{i*}(e^i, e^j) = \frac{2A - e^j + 3e^i}{8}$$

Se observa que $\frac{\partial q^{i*}}{\partial e^i} = \frac{3}{8}$ lo que indica que la cantidad producida por la empresa i aumenta cuando aumenta la cuota máxima de emisiones permitida; mientras que, $\frac{\partial q^{i*}}{\partial e^j} = -\frac{1}{8}$ que indica que una regulación menos estricta en el país rival tiene como resultado una reducción en la cantidad producida por la empresa local.

En lo que respecta a la elección de la cuota máxima de emisiones permitida, cuando la decisión es tomada por el gobierno de los países en los que se produce el insumo, se elige la cuota máxima de emisiones que maximiza su beneficio neto, esto es, el gobierno del país i resuelve:

$$\max_{e^i} BN^i = (A - q^i - q^j) q^i - \frac{(q^i - e^i)^2}{2} - \frac{d(e^i + \lambda e^j)^2}{2}$$

Si el gobierno considera únicamente la dependencia de q^i de e^i , la condición de primer orden está dada por:

$$BN_{e^i}^i = (A - q^i - q^j) q_{e^i}^i - q^i q_{e^i}^i - (q^i - e^i) (q_{e^i}^i - 1) - d(e^i + \lambda e^j) = 0$$

Que implica que:

$$q^i - e^i = d(e^i + \lambda e^j)$$

Que no es más que la regla óptima en la que el costo marginal de abatimiento se iguala al daño marginal local.

Resolviendo para e^i se tiene que:

$$e^i = \frac{q^i - d\lambda e^j}{d + 1}$$

Considerando el equilibrio simétrico en el que $q^{1*} = q^{2*} = \tilde{q}^*$ y $e^{1*} = e^{2*} = \tilde{e}^*$ se tiene que:

$$\tilde{e}^* = \frac{A}{4d + 4\lambda d + 3}$$

Por otra parte, si el gobierno se comporta estratégicamente y elige la cuota máxima de emisiones \hat{e}^i que maximiza el bienestar de su país reconociendo que q^i y q^j dependen de e^i , esta vez la condición de primer orden está dada por:

$$BN_{e^i}^i = (A - q^i - q^i) q_{e^i}^i - q^i (q_{e^i}^i + q_{e^i}^j) - (q^i - e^i) (q_{e^i}^i - 1) - d(e^i + \lambda e^j) = 0$$

De donde se tiene que:

$$e^i = \frac{\frac{9}{8}q^i - \lambda d e^j}{(d+1)}$$

Resolviendo para el equilibrio simétrico en el que $q^{1*} = q^{2*} = \hat{q}^*$ y $e^{1*} = e^{2*} = \hat{e}^*$:

$$\hat{e}^* = \frac{9}{8} \left(\frac{A}{4d + 4\lambda d + \frac{23}{8}} \right)$$

Se observa que $\hat{e}^* > \bar{e}^*$.

Por otro lado, en el caso en el que el gobierno del país en el que se localiza la empresa productora del bien final fija una regulación sobre las emisiones máximas que pueden realizar las empresas de la industria, se elige una cuota máxima de emisiones \bar{e}^i que deben cumplir los países 1 y 2 de manera que se maximice el bienestar global, dado por:

$$\max_{e^1, e^2} BN^G = \int_0^Q P^l(X) dX - \frac{d(\lambda(e^1 + e^2))^2}{2} - \frac{(q^1 - e^1)^2}{2} - \frac{d(e^1 + \lambda e^2)^2}{2} - \frac{(q^2 - e^2)^2}{2} - \frac{d(e^2 + \lambda e^1)^2}{2}$$

Para $k = 1$, esto es, considerando que la función inversa de demanda del bien final es $P_1(Q) = A - \frac{Q}{4}$, las condiciones de primer orden están dadas por:

$$\begin{aligned} BN_{e^i}^G &= A(q_{e^i}^i + q_{e^i}^j) - \frac{1}{4}(q^i + q^j)(q_{e^i}^i + q_{e^i}^j) - \lambda d(\lambda(e^i + e^j)) - (q^i - e^i)(q_{e^i}^i - 1) \\ &\quad - d(e^i + \lambda e^j) - (q^j - e^j)(q_{e^i}^j) - \lambda d(e^j + \lambda e^i) = 0 \end{aligned}$$

para $i = 1, 2$.

De donde se obtiene que:

$$e^i = \frac{\frac{9}{32}A + \frac{19}{48}q^i - e^j(\lambda^2 d + 2\lambda d + \frac{1}{8})}{2\lambda^2 d + d + \frac{19}{32}}$$

Resolviendo para el equilibrio simétrico en el que $q^{1*} = q^{2*} = \bar{q}^*$ y $e^{1*} = e^{2*} = \bar{e}^*$ se obtiene que:

$$\bar{e}^* = \frac{A}{\frac{1}{73}(576\lambda^2 d + 384\lambda d + 192d + 119)}$$

Comparando las cuotas máximas de emisiones de equilibrio en la regulaciones local eficiente, local estratégica e internacional, e^* , \hat{e}^* y \bar{e}^* , respectivamente, se observa que la regulación internacional podría resolver el problema originado por el incentivo que tienen los gobiernos a sub-regular a sus industrias para obtener una mayor participación en el comercio internacional, esto es $\bar{e}^* < \hat{e}^*$, si se cumple que:

$$d > \frac{19}{162\lambda^2 + 35\lambda - 19}$$

O inclusive la regulación internacional podría llegar a ser más restrictiva que la regulación local eficiente $\bar{e}^* < e^*$ si se siempre que:

$$d > \frac{25}{144\lambda^2 + 23\lambda - 25}$$

Por otro lado, para $k = 2$, esto es, considerando que la función inversa de demanda del bien final es $P_2(Q) = A - Q$, las condiciones de primer orden están dadas por:

$$\begin{aligned} BN_{e^i}^G = & A(q_{e^i}^i + q_{e^i}^j) - (q^i + q^j)(q_{e^i}^i + q_{e^i}^j) - \lambda d(\lambda(e^i + e^j)) - (q^i - e^i)(q_{e^i}^i - 1) \\ & - d(e^i + \lambda e^j) - (q^j - e^j)(q_{e^i}^j) - \lambda d(e^j + \lambda e^i) = 0 \end{aligned}$$

para $i = 1, 2$.

De donde se obtiene que:

$$e^i = \frac{\frac{1}{8}A + \frac{17}{24}q^i - e^j (\lambda^2 d + 2\lambda d + \frac{1}{8})}{2\lambda^2 d + d - \frac{7}{12}}$$

Resolviendo para el equilibrio simétrico en el que $e^{1*} = e^{2*} = \bar{e}^*$ y $q^{1*} = q^{2*} = \bar{q}^*$:

$$\bar{e}^* = \frac{A}{\frac{1}{29}(288\lambda^2 d + 192\lambda d + 96d + 27)}$$

Esta vez las condiciones bajo las cuáles la regulación internacional sería más estricta que la local estratégica y la local eficiente son, respectivamente:

$$d > \frac{53}{288\lambda^2 + 100\lambda - 8}$$

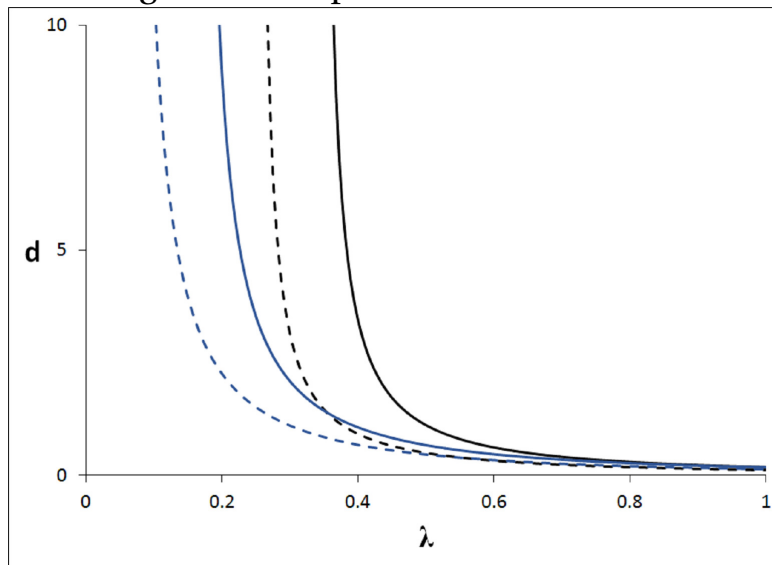
Y:

$$d > \frac{15}{72\lambda^2 + 19\lambda - 5}$$

En la figura 1 se ilustran las distintas combinaciones del parámetro asociado a la función de daño ambiental d y el parámetro que indica el grado en el que la contaminación generada en un país se traslada a los demás, λ , para las cuales las dos condiciones anteriores y las condiciones dadas antes cuando se considera que la función inversa de demanda del bien final es $P^1(Q)$, se cumplen con igualdad; por lo tanto, a la derecha de cada línea la regulación internacional es más estricta.

En primer lugar, en la figura 1 se puede observar que la regulación internacional será más estricta que la local, ya sea la eficiente o la estratégica, cuando o bien el daño causado por la contaminación sea importante (mayores valores del parámetro d) o bien la proporción de la contaminación que se traslada entre países sea grande. Lo anterior resulta muy intuitivo, pues, entre mayor sea el daño causado por la contaminación se buscará tomar medidas más restrictivas en cuanto a la emisiones permitidas.

Figura 1. Comparación de escenarios



Las líneas punteadas representan los casos para los que la regulación internacional es igual a la regulación local eficiente, mientras que las líneas continuas representan los casos en los que la primera es igual a la regulación local estratégica. Las líneas negras son para el escenario en el que la función inversa de demanda del bien final es $P^1(Q)$ y las azules para cuando se considera $P^2(Q)$.

En segundo lugar se observa que al considerar una función de demanda del bien final menos elástica, el conjunto de combinaciones de los parámetros d y λ para el que la regulación internacional fija una cuota máxima de emisiones menor que cualquiera de las regulaciones locales se amplía. Esto es, dado que la cuota máxima de emisiones permitida impacta en la cantidad que se produce del insumo y por tanto en el precio del bien final, una función de demanda que reacciona menos ante cambios en el precio permite reducir las ganancias asociadas a una mayor cuota máxima de emisiones, a través de su impacto en el excedente del consumidor.

4. Conclusiones

En términos generales, el presente documento contribuye a la literatura sobre regulación ambiental en contextos de competencia imperfecta en el comercio internacional. Bajo el escena-

rio planteado se observa que, si la regulación se fija de manera local existen incentivos a subregular; mientras que si la decisión se toma en el ámbito internacional a través de la maximización del bienestar global, no necesariamente se restringe más la emisión de contaminantes, debido a la relación inversa entre consumo y contaminación. En este sentido, un ejercicio que queda para futuras investigaciones, es analizar qué sucede cuando el país encargado de establecer la regulación ambiental lo hace sólo a través de la maximización de su bienestar.

En el ejemplo planteado, se puede observar cómo el hecho de introducir una función inversa de demanda que reacciona menos ante cambios en los precios, permite ampliar el conjunto de condiciones bajo las cuales la regulación internacional es más efectiva, en el sentido de que permite una mayor reducción en las emisiones. Lo anterior lleva a pensar que una manera de lograr reducir las emisiones es a través de incidir en las preferencias de los consumidores, por ejemplo hacia una mayor preferencia por bienes amigables con el medio ambiente. Queda pues en la agenda de investigación analizar esta posibilidad con mayor profundidad.

5. Anexos

Anexo 1. Demostración del signo del efecto del elemento estratégico

Se demuestra que:

$$\Pi_{q^j}^i \frac{dq^j}{dq^i} \frac{dq^i}{de^i} > 0$$

Por supuesto, $R_{q^j}^i < 0$, por lo que $\Pi_{q^j}^i < 0$.

Ahora se observa cuál es el signo de $\frac{dq^j}{dq^i}$.

De la derivada total de:

$$\Pi_{q^i}^i(q^i, q^j, e^i) = BN_{q^i}^i(q^i, q^j, e^i) = 0$$

Dada por:

$$BN_{q^i q^i}^i dq^i + BN_{q^i q^j}^j dq^j + BN_{q^i e}^i de^i = 0$$

Se tiene que:

$$de^i = - \left(\frac{BN_{q^i q^i}^i dq^i + BN_{q^i q^j}^j dq^j}{BN_{q^i e}^i} \right) \quad (5.1)$$

Mientras que de la derivada total de:

$$\Pi_{q^j}^j(q^i, q^j, e^j) = BN_{q^j}^j(q^i, q^j, e^j) = 0$$

Dada por:

$$BN_{q^j q^i}^j dq^i + BN_{q^j q^j}^j dq^j + BN_{q^j e}^j de^j = 0$$

Se tiene que:

$$de^j = -\frac{BN_{q^j q^i}^j dq^i + BN_{q^j q^j}^j dq^j}{BN_{q^j e}^j} \quad (5.2)$$

Sustituyendo (5.1) y (5.2) en la derivada total de la expresión:

$$BN_e^j(q^j, e^i, e^j) = 0$$

Dada por:

$$BN_{eq^j}^j dq^j + BN_{ee}^j de^i + BN_{ee}^j de^j = 0 \quad (5.3)$$

Se tiene que:

$$BN_{eq^j}^j dq^j - BN_{ee}^j \left(\frac{BN_{q^j q^i}^j dq^i + BN_{q^j q^j}^j dq^j}{BN_{q^j e}^j} \right) - BN_{ee}^j \left(\frac{BN_{q^i q^i}^i dq^i + BN_{q^i q^j}^i dq^j}{BN_{q^i e}^i} \right) = 0$$

Resolviendo para $\frac{dq^j}{dq^i}$:

$$\frac{dq^j}{dq^i} = \frac{BN_{ee}^j BN_{q^i e}^i BN_{q^j q^i}^j + BN_{ee}^j BN_{q^j e}^j BN_{q^i q^i}^i}{BN_{q^i e}^i (BN_{eq^j}^j BN_{q^j e}^j - BN_{ee}^j BN_{q^j q^j}^j) - BN_{ee}^j BN_{q^j e}^j BN_{q^i q^j}^i} \quad (5.4)$$

Se observa que $BN_{q^i q^i}^i < 0$ y $BN_{ee}^i < 0$ por las condiciones de segundo orden del problema de maximización de la empresa y del gobierno, respectivamente; $BN_{q^i q^j}^i < 0$ y $BN_{ee}^i < 0$ por

supuesto; $BN_{q^i e}^i > 0$; y $(BN_{eq^j}^j BN_{q^j e}^j - BN_{ee}^j BN_{q^j q^j}^j) < 0$ por condición de estabilidad. Por lo tanto los signos de la expresión (5.4) quedan de la siguiente manera:

$$\frac{[(-+-) + (-+-)] > 0}{[(+-) - (-+-)] < 0} < 0$$

Con lo que se concluye que $\frac{dq^j}{dq^i} < 0$.

Para obtener el signo de $\frac{dq^i}{de^i}$ se calcula la derivada total de:

$$\Pi_{q^i}^i(q^i, q^j, e^i) = BN_{q^i}^i(q^i, q^j, e^i) = 0$$

Dada por:

$$BN_{q^i q^i}^i dq^i + BN_{q^i q^j}^i dq^j + BN_{q^i e}^i de^i = 0$$

De la expresión anterior se tiene que:

$$dq^j = - \left(\frac{BN_{q^i q^i}^i dq^i + BN_{q^i e}^i de^i}{BN_{q^i q^j}^i} \right) \quad (5.5)$$

Sustituyendo (5.5) en (5.4):

$$- \left(\frac{BN_{q^i q^i}^i dq^i + BN_{q^i e}^i de^i}{BN_{q^i q^j}^i} \right) = \frac{BN_{ee}^j BN_{q^i e}^i BN_{q^j q^j}^j + BN_{ee}^j BN_{q^j e}^j BN_{q^i q^i}^i}{BN_{q^i e}^i (BN_{eq^j}^j BN_{q^j e}^j - BN_{ee}^j BN_{q^j q^j}^j) - BN_{ee}^j BN_{q^j e}^j BN_{q^i q^j}^i}$$

Renombrando:

$$\frac{\beta}{\gamma} = \frac{BN_{ee}^j BN_{q^i e}^i BN_{q^i q^i}^j + BN_{ee}^j BN_{q^j e}^j BN_{q^i q^i}^i}{BN_{q^i e}^i \left(BN_{eqj}^j BN_{q^j e}^j - BN_{ee}^j BN_{q^i q^j}^j \right) - BN_{ee}^j BN_{q^i e}^j BN_{q^i q^j}^i}$$

Resolviendo para $\frac{dq^i}{de^i}$:

$$\frac{dq^i}{de^i} = \frac{-\gamma \left(BN_{q^i e}^i \right)}{\beta \left(BN_{q^i q^j}^i \right) + \gamma \left(BN_{q^i q^i}^i \right)}$$

Trabajando con el denominador:

$$\begin{aligned} & \beta \left(BN_{q^i q^j}^i \right) + \gamma \left(BN_{q^i q^i}^i \right) = \\ & -BN_{q^i e}^i \left(BN_{q^i q^i}^i BN_{q^j q^j}^j BN_{ee}^j - BN_{q^i q^i}^i BN_{q^j e}^j BN_{eqj}^j - BN_{q^j q^i}^j BN_{q^i q^j}^i BN_{ee}^j \right) \end{aligned}$$

Se sabe que $BN_{q^i e}^i > 0$, mientras que el término entre paréntesis es negativo por la condición de estabilidad, por lo que el denominador es positivo. Dado que $\gamma < 0$ el numerador también es positivo, por lo tanto se concluye que $\frac{dq^i}{de^i} > 0$.

Finalmente, se concluye que:

$$\Pi_{q^j}^i \frac{dq^j}{dq^i} \frac{dq^i}{de^i} > 0$$

Anexo 2. Equilibrio Nash bajo la regulación local estratégica

El equilibrio de Nash definido por:

$$R_{q^1}^1 - C_{q^1}^1 - A_{q^1}^1 = 0$$

$$R_{q^2}^2 - C_{q^2}^2 - A_{q^2}^2 = 0$$

$$\Pi_{q^1}^1 \frac{dq^1}{de^1} + \Pi_{q^2}^1 \frac{dq^2}{dq^1} \frac{dq^1}{de^1} - A_e^1 - D_e^1 = 0$$

$$\Pi_{q^2}^2 \frac{dq^2}{de^2} + \Pi_{q^1}^2 \frac{dq^1}{dq^2} \frac{dq^2}{de^2} - A_e^2 - D_e^2 = 0$$

De la derivada total de $\Pi_{q^2}^2 = 0$ dada por:

$$\Pi_{q^2 q^2}^2 dq^2 + \Pi_{q^2 q^1}^2 dq^1 + \Pi_{q^2 e}^2 de^2 = 0$$

Suponiendo $de^2 = 0$, se tiene que:

$$\frac{dq^2}{dq^1} = - \frac{\Pi_{q^2 q^1}^2}{\Pi_{q^2 q^2}^2} \quad (5.6)$$

Sustituyendo la expresión anterior en la derivada total de $\Pi_{q^1}^1 = 0$ dada por:

$$\Pi_{q^1 q^1}^1 dq^1 + \Pi_{q^1 q^2}^1 dq^2 + \Pi_{q^1 e}^1 de^1 = 0$$

Se tiene que:

$$\Pi_{q^1 q^1}^1 dq^1 - \Pi_{q^1 q^2}^1 \left(\frac{BN_{q^2 q^1}^2}{\Pi_{q^2 q^2}^2} \right) dq^1 + \Pi_{q^1 e}^1 de^1 = 0$$

De donde se obtiene:

$$\frac{dq^1}{de^1} = - \frac{\Pi_{q^1 e}^1 \Pi_{q^2 q^2}^2}{\Pi_{q^1 q^1}^1 \Pi_{q^2 q^2}^2 - \Pi_{q^1 q^2}^1 \Pi_{q^2 q^1}^2} \quad (5.7)$$

Sustituyendo (5.6) y (5.7) en la condición de primer orden del problema del gobierno del país 1:

$$BN_e^1 = \frac{\Pi_{q^2}^1 \Pi_{q^2 q^1}^2 \Pi_{q^1}^1 e}{-\left(\Pi_{q^1 q^1}^1 \Pi_{q^2 q^2}^2 - \Pi_{q^1 q^2}^1 \Pi_{q^2 q^1}^2\right)}$$

Y análogamente para el gobierno del país 2.

Anexo 3. Equilibrio de Nash bajo la regulación internacional

El equilibrio de Nash está definido por:

$$R_{q^1}^1 - C_{q^1}^1 - A_{q^1}^1 = 0$$

$$R_{q^2}^2 - C_{q^2}^2 - A_{q^2}^2 = 0$$

$$-C_q^1 \frac{dq^1}{de^1} - A_q^1 \frac{dq^1}{de^1} - A_e^1 - D_e^1 - C_q^2 \frac{dq^2}{dq^1} \frac{dq^1}{de^1} - A_q^2 \frac{dq^2}{dq^1} \frac{dq^1}{de^1} - \lambda D_e^2 + PQ_{e^1} - C_Q^3 Q_{e^1} - \lambda D_e^3 = 0$$

$$-C_q^2 \frac{dq^2}{de^2} - A_q^2 \frac{dq^2}{de^2} - A_e^2 - D_e^2 - C_q^1 \frac{dq^1}{dq^2} \frac{dq^2}{de^2} - A_q^1 \frac{dq^1}{dq^2} \frac{dq^2}{de^2} - \lambda D_e^1 + PQ_{e^2} - C_Q^3 Q_{e^2} - \lambda D_e^3 = 0$$

Tomando en cuenta la primera expresión, la condición de primer orden del problema del gobierno del país 1 se puede escribir como:

$$-R_{q^i}^i \frac{dq^i}{de^i} - A_e^i - D_e^i - R_{q^j}^j \frac{dq^j}{dq^i} \frac{dq^i}{de^i} - \lambda D_e^j + PQ_{e^i} - C_Q^3 Q_{e^i} - \lambda D_e^3 = 0$$

Mientras que sustituyendo (5.6) y (5.7) en la expresión anterior se tiene que:

$$BN_e^1 = \left(R_{q^1}^1 - R_{q^2}^2 \frac{\Pi_{q^2 q^1}^2}{\Pi_{q^2 q^2}^2} \right) \left(\frac{\Pi_{q^1 e}^1 \Pi_{q^2 q^2}^2}{\Pi_{q^1 q^1}^1 \Pi_{q^2 q^2}^2 - \Pi_{q^1 q^2}^1 \Pi_{q^2 q^1}^2} \right) - \lambda D_e^2 + PQ_{e^1} - C_Q^3 Q_{e^1} - \lambda D_e^3$$

Y análogamente para el segundo país.

Referencias

- Barrett, S. (1994). Strategic environmental policy and international trade. *Journal of Public Economics*, 54(3):325 – 338.
- Bechtel, M. M. y Urpelainen, J. (2015). All policies are glocal: International environmental policy making with strategic subnational governments. 45(3):559–582.
- Brander, J. A. y Spencer, B. J. (1985). Export subsidies and international market share rivalry. *Journal of International Economics*, 18(1):83 – 100.
- Conrad, K. (1993). Taxes and subsidies for pollution-intensive industries as trade policy. *Journal of Environmental Economics and Management*, 25(2):121 – 135.
- Duval, Y. y Hamilton, S. F. (2002). Strategic environmental policy and international trade in asymmetric oligopoly markets. *International Tax and Public Finance*, 9(3):259 – 271.
- Hamilton, S. F. y Requate, T. (2004). Vertical structure and strategic environmental trade policy. *Journal of Environmental Economics and Management*, 47(2):260 – 269.
- IPCC (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- Kennedy, P. W. (1994). Equilibrium pollution taxes in open economies with imperfect competition. *Journal of Environmental Economics and Management*, 27(1):49 – 63.
- Lewin, P. (1982). Pollution externalities social cost and strict liability. *Cato Journal*, 2(1):205–229.
- Ludema, R. D. y Wooton, I. (1994). Cross-border externalities and trade liberalization: The strategic control of pollution. *Canadian Journal of Economics*, 27(4):950 – 966.
- Requate, T. (2005). Environmental policy under imperfect competition: A survey. Economics Working Papers 2005, 12, Christian-Albrechts-University of Kiel, Department of Economics.
- Stern, N. (2007). *The economics of climate change: the Stern review*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom New York, N.Y.
- Ulph, A. (1996). Environmental policy and international trade when governments and producers act strategically. *Journal of Environmental Economics and Management*, 30(3):265 – 281.