

Mercados integrados y políticas de control ambiental

Integrated markets and environmental control policies

SALVADOR SANDOVAL BRAVO¹

- **Resumen:** El trabajo desarrolla un modelo de equilibrio parcial en condiciones de mercados integrados en el comercio bilateral de un bien homogéneo, en el cual dos empresas heterogéneas y monopólicas en sus respectivos países que generan contaminantes compiten bajo un esquema oligopólico. De esta manera los gobiernos deben aplicar políticas ambientales estratégicas que garanticen un medio ambiente saludable, pero que al mismo tiempo consideren el beneficio de las empresas y de los consumidores, además del ingreso propio a través de la recaudación de impuestos de contaminación a las empresas. Los resultados establecen que, si el costo marginal por contaminar es muy alto entonces, el gobierno debe implementar un impuesto de contaminación elevado. Por otro lado, si el costo marginal por contaminar no es muy significativo, el gobierno aplicará un impuesto nulo a la emisión de contaminantes.
- **Palabras clave:** Mercados integrados, impuestos de contaminación, políticas medioambientales.
- **Clasificación JEL:** Q52, Q56, F18.
- **Abstract:** This article develops a partial equilibrium model based on integrated markets conditions in a bilateral trade of a homogeneous good. Two pollutants-producing heterogeneous and monopolistic firms are assumed to be located in their respective countries, where they compete under an oligopolistic scheme. Thus, governments should work out strategic environmental policies so as to really warrant a healthy and clean environment. As the same time, they should take into account both the benefits of enterprises and consumers, as well as their own revenues by means of the collection of pollution taxes from firms. The main accomplished findings aim at concluding that if the pollutant marginal cost is very high, governments should fix a high pollution tax; otherwise, a zero tax on pollution emissions should be fixed whether the marginal cost of pollution does not show very significant.

¹ Universidad de Guadalajara, México. E-mail: salvsanb@cucea.udg.mx.

- **Key words:** Integrated markets, pollution taxes, environmental policies.
- Recepción: 09/03/2018 Aceptación: 10/10/2018

- *Introducción*

La contaminación ocasiona efectos adversos en el medioambiente, daños severos en la salud de las personas, además de pérdidas económicas cuantiosas. De esta manera, el incremento del efecto de invernadero y la temperatura global, la lluvia ácida, el aumento en la incidencia y severidad de huracanes, inundaciones, tornados, sequías e incendios son solo algunas de las manifestaciones más evidentes. En este sentido, la contaminación, es en parte, responsable de los costos económicos derivados de los desastres naturales.² Así mismo, la contaminación afecta de manera directa la salud pública, ya que es responsable directa e indirectamente de padecimientos respiratorios, intestinales, auditivos, visuales y otros desordenes orgánicos. Estos padecimientos han alcanzado proporciones alarmantes en las grandes concentraciones urbanas (United Nations Environment Programme [UNEP], 2012).

Por otro lado, el aumento poblacional y el crecimiento económico de los países, ocasionan una mayor demanda de bienes y servicios a escala global, lo cual provoca el uso intensivo de recursos naturales necesarios para estos procesos productivos, siendo esta combinación de factores la causa del aumento de las emisiones mundiales de contaminantes. Por lo tanto, se requieren acciones concretas para regular las emisiones, que los gobiernos deben implementar para controlar la contaminación. Pero, por otro lado, los gobiernos se tornan reacios a aplicar políticas ambientales que afecten la productividad de las empresas y la pérdida de competitividad de las mismas en los mercados internacionales, ya que tales regulaciones constituyen barreras comerciales evidentes. Ante esta disyuntiva los gobiernos deben actuar con cautela e inteligencia, implementando medidas que garanticen al mismo tiempo crecimiento económico y un medio ambiente saludable.

En este sentido, cuando los bienes producidos se intercambian en el mercado mundial, es indispensable que los países negocien condiciones favorables para sus empresas a través de tratados comerciales internacionales, tales tratados incluyen también cláusulas medioambientales que necesariamente afectan la estructura de costos de las empresas, ya que estas deben solventar los costos derivados del control de la contaminación a la cual tienen que ajustarse de manera estricta. Otro factor de consideración en las negociaciones internacionales se refiere a la diferencia relativa de las empresas, ubicadas en los

² De acuerdo con Mohleji y Pielke (2014) las pérdidas globales aumentaron a una tasa de \$3.1 mil millones = año (2008 USD) de 1980-2008, de los cuales 97% corresponde a las pérdidas por tormentas e inundaciones en América del Norte, Asia, Europa y Australia. En particular, las tormentas en América del Norte debidas a los huracanes en Estados Unidos, representan 57% de las pérdidas económicas mundiales. Por otro lado, Pielke, Gratz, Landsea, Collins, Saunders y Musulin (2008), reportan pérdidas en huracanes, tornados e inundaciones, de 16 972 millones de dólares en promedio para el período 1955-2006, excediendo algunos años la cifra de 100 000 millones de dólares.

diferentes países, ya que tales distinciones pueden tener impacto tanto en el proceso de negociación como en los efectos de las emisiones de contaminación en el bienestar de los consumidores, la recaudación de impuestos y la utilidad de las empresas que comercian internacionalmente. De esta forma, la aplicación de políticas ambientales representa distorsiones comerciales en las transacciones comerciales internacionales, que afectan, en mayor o menor medida, el bienestar de los países involucrados.

Aunque la literatura referente a controles ambientales es amplia, no existen los bastantes trabajos relativos a los mercados internacionalmente integrados. El instrumento de control ambiental utilizado en este trabajo es el impuesto de contaminación, que es un gravamen que cobra el gobierno a las empresas por unidad de contaminación emitida, de esta forma, el que contamina más paga más.³ En este sentido, este trabajo pretende estudiar los resultados en el bienestar general de la aplicación de controles medioambientales, particularmente impuestos de contaminación, para el comercio internacional de un bien homogéneo cuando dos empresas heterogéneas situadas en países diferentes comercian entre sí, un bien homogéneo bajo condiciones de mercados integrados.

El comercio recíproco de bienes similares entre dos países se denomina comercio intra-industrial; asumiremos este supuesto en el modelo desarrollado en este trabajo.⁴ El comercio intra-industrial que explica, de alguna manera, el intercambio de productos de mercancías con sutiles diferencias entre los países ha sido discutido ampliamente en la literatura relacionada con la determinación de precios bajo condiciones de competencia perfecta, aunque también se han examinado enfoques utilizando el esquema competitivo imperfecto, particularmente bajo el marco oligopólico de Cournot.⁵ El comercio intra-industrial de bienes homogéneos en el contexto de mercados oligopólicos puede abordarse desde diferentes perspectivas, ya sea asumiendo mercados segmentados como Brander (1981), y Brander y Krugman (1983), en la cual existe diferencia de precios entre los bienes homogéneos, o bien asumiendo mercados integrados como Markusen (1981), dicho enfoque supone que los precios son idénticos, hipótesis más natural por tratarse de un mercado común para bienes homogéneos.⁶

En el contexto de los modelos de política ambiental y comercio internacional de bienes homogéneos bajo competencia imperfecta y tratándose de mercados segmentados, podemos mencionar algunos trabajos relevantes. Kayalica y Yilmaz (2006) desarrollan un modelo de comercio intra-industrial para monopolios en el que dos países establecen impuestos de contaminación y subsidios a las exportaciones como instrumentos para controlar la contaminación. Sus hallazgos sugieren que en el equilibrio no cooperativo los subsidios óptimos siempre son positivos, mientras que los impuestos pueden eventualmente ser nulos. También señalan, que si se liberaliza el comercio eliminando los subsidios, no cambia el nivel de total contaminación. Además muestran que si los impuestos de contaminación se incrementan uniformemente, esto se traduce en mayores

³ Cropper y Oates (1992), por ejemplo, examinan meticulosamente varios mecanismos de control ambiental, incluido claro, el impuesto de contaminación.

⁴ Acerca del comercio intra-industrial (también referenciado como CROSS-HAULING) podemos mencionar los siguientes trabajos, Balassa (1966), Krugman (1979) y Lancaster (1980).

⁵ Sobre este tema particular podemos mencionar a Brander (1981), Brander & Krugman (1983).

⁶ Para un análisis comparativo de los dos enfoques, véase Venables (1990).

niveles de contaminación. En Espinosa y Kayalica (2017) dos países con dumping recíproco y empresas heterogéneas establecen cuotas de contaminación. En un entorno cooperativo y no cooperativo, las cuotas de contaminación restringen el comercio y disminuyen la contaminación. Sandoval y Coronado (2011) desarrollan un modelo similar al anterior incluyendo el supuesto de contaminación transfronteriza y utilizando además de las cuotas de contaminación los aranceles compensatorios. Concluyen que, si la desutilidad de la contaminación es significativamente alta en relación con el costo de abatimiento, los gobiernos imponen controles severos; es decir, imponen a las empresas una cuota de contaminación cero o un arancel compensatorio oneroso.

En este sentido el presente trabajo se distingue de los modelos de política ambiental y comercio internacional de bienes homogéneos por el supuesto de mercados integrados que no es considerado en ninguno de los modelos similares y que rige una gran proporción de las transacciones económicas mundiales en la era de los tratados internacionales de libre comercio.

El modelo que desarrollaremos asume la existencia de una empresa en cada país, además que dichas empresas son heterogéneas. Las empresas emiten contaminantes en sus procesos productivos, no obstante poseen la tecnología adecuada para reducir sus emisiones. Asumimos que hay una empresa en cada país y son heterogéneas porque tienen diferentes estructuras de costos. La contaminación ambiental ocurre como un subproducto de la de los procesos de fabricación de los bienes. Emplearemos un modelo de equilibrio parcial para el comercio bilateral de un bien homogéneo, bajo el supuesto de mercados integrados, utilizando impuestos de contaminación como instrumento de control ambiental. Construiremos una función de bienestar general para cada país que incluya el beneficio de las empresas, el excedente del consumidor, el ingreso tributario del gobierno por el cobro de los impuestos de contaminación, además del costo social por contaminar. Se determinarán las políticas ambientales que maximicen el bienestar de cada país a partir del cálculo del impuesto de contaminación óptimo tanto en un ambiente cooperativo como no cooperativo, en el primer caso un país determina el impuesto tomando en cuenta solo su propio bienestar, y en el segundo caso la determinación del impuesto óptimo considera también el bienestar del país con el cual se comercia el bien en cuestión.

El modelo se especifica en la segunda sección. En la tercera se hace el estudio de estática comparativa. En la sección cuarta y quinta resolvemos el modelo para calcular el impuesto de contaminación óptimo en un ambiente no cooperativo y no cooperativo respectivamente, además se deducen las políticas ambientales que maximizarán el bienestar general. Se finalizará con conclusiones y observaciones generales del modelo en la sexta sección.

■ *El modelo*

Para el desarrollo de este trabajo nos basamos en los modelos de Keen y Lahiri (1993, 1998), y Keen, Lahiri y Møller (2002), para un mercado de un bien homogéneo bajo condiciones de competencia imperfecta. En nuestro modelo existen dos países *A* y *B*

que comercian entre sí el bien homogéneo. Suponemos que existen dos empresas heterogéneas, una en cada uno de los países que compite bajo los supuestos de Cournot, asumiendo que cada empresa considera la producción de la otra empresa como dada cuando maximiza su producción. De manera implícita, presumimos la existencia de un segundo bien numerario producido y comercializado internacionalmente en condiciones de competencia perfecta, y suponemos que ambos bienes requieren un único factor de producción cuyo precio es establecido en un mercado perfectamente competitivo.

Las empresas producen x y x^* cantidad de bienes, para el país local y país extranjero respectivamente. Además la producción del bien es homogénea entre los dos países. Sean k y k^* , los costos marginales de las empresas en país local y país extranjero respectivamente. Tales costos los podemos considerar constantes e iguales a sus costos variables promedio. Suponemos además que los mercados están integrados entre los dos países, por lo que el precio del bien homogéneo es el mismo en los dos países. Es decir, el precio en el país local P y el precio en el país extranjero P^* son iguales, así que el precio común lo denotaremos simplemente P_w , esto es,

$$(1) \quad P_w = P = P^*$$

Podemos suponer funciones de utilidad cuasi-lineales para cada país de la forma:⁷

$$U(P_w, \mu) = \frac{\beta P_w^2}{2} - \alpha P_w^2 + \mu$$

$$U(P_w, \mu^*) = \frac{\beta^* P_w^2}{2} - \alpha^* P_w^2 + \mu^*$$

Donde μ y μ^* representan el consumo de los bienes numerarios para el país local y extranjero respectivamente, además $(\beta, \beta^*, \alpha, \alpha^*) > 0$. Por la identidad de Roy, obtenemos ecuaciones lineales para la ecuación de la demanda, como sigue,

$$(2) \quad D = \alpha - \beta P_w$$

$$(3) \quad D^* = \alpha^* - \beta^* P_w$$

Donde D y D^* , son la demanda en el país local y en el país extranjero, respectivamente. Además como los mercados de estos países están internacionalmente integrados se deduce que,

$$(4) \quad D + D^* = x + x^*$$

las utilidades de las empresas en el país local y en el país extranjero, π y π^* , están definidos por,

⁷ El uso de tal aproximación evita dificultades teóricas tales como el efecto ingreso.

$$(5) \quad \pi = (P_w - k)x - F$$

$$(6) \quad \pi^* = (P_w - k^*)x^* - F^*$$

donde k y F representan los costos marginales y los costos fijos del país local; análogamente k^* y F^* denotan los costos respectivos del país extranjero.

Dado que los mercados están internacionalmente integrados, las dos empresas nacionales son competidoras, de tal suerte, que bajo los supuestos de Cournot, tenemos las siguientes condiciones de primer orden para las empresas,

$$(7) \quad d\pi = (P_w - k)dx + x dP_w$$

$$(8) \quad d\pi^* = (P_w - k^*)dx^* + x^* dP_w$$

Si sustituimos (2) y (3) en (4), tenemos:

$$(9) \quad P_w = \frac{a}{b} - \frac{x + x^*}{b}$$

Donde $a = \alpha + \alpha^*$ y $b = \beta + \beta^*$. De la ecuación (9) podemos deducir lo siguiente,

$$(10) \quad \frac{dP_w}{dx} = -\frac{1}{b}$$

$$(11) \quad \frac{dP_w}{dx^*} = -\frac{1}{b}$$

Y reemplazando (10) y (11) en (7) y (8) respectivamente resulta,

$$(12) \quad \frac{d\pi}{dx} = (P_w - k) - \frac{x}{b}$$

$$(13) \quad \frac{d\pi^*}{dx^*} = (P_w - k^*) - \frac{x^*}{b}$$

Igualando (12) y (13) a cero y resolviendo las ecuaciones simultáneas obtenemos los niveles de producción óptimos para las empresas competidoras en el mercado internacionalmente integrado,

$$(14) \quad x = b(P_w - k)$$

$$(15) \quad x^* = b(P_w - k^*)$$

Ahora bien, si sustituimos (14) y (15) en (9), obtenemos el precio del bien homogéneo en el mercado internacionalmente integrado en función de los costos marginales de producción de las dos empresas,

$$(16) \quad P_w = \frac{a}{3b} + \frac{k+k^*}{3}$$

Por otro lado, el modelo considerará la aplicación de un instrumento de control ambiental, el impuesto de contaminación (por unidad de contaminación emitida en la producción del bien homogéneo), de cuyo valor óptimo se deducirán más adelante la implementación de las políticas ambientales estratégicas que maximizarán el bienestar general. En este sentido, el costo marginal de cada empresa se puede descomponer en dos términos,

$$(17) \quad k = c + T$$

$$(18) \quad k^* = c^* + T^*$$

donde c y c^* , denotan el costo tecnológico y de condiciones de mercado, los cuales podemos considerar constantes. Además T y T^* , representan los costos que implican la reducción de la contaminación como consecuencia de la aplicación de la política ambiental. De esta manera, el costo debido a la política ambiental de acuerdo a Lahiri y Ono (2000) se puede definir como,

$$(19) \quad T = \gamma(\theta - z) + \tau z$$

$$(20) \quad T^* = \gamma^*(\theta - z^*) + \tau^* z^*$$

Presumimos que las empresas productoras en ambos países poseen la tecnología adecuada para reducir sus emisiones. Luego, γ e γ^* , son los costos de abatimiento por unidad de contaminación emitida; es decir, la cantidad que le cuesta a la empresa reducir una unidad de contaminación emitida por su proceso productivo. El parámetro θ representa la cantidad de emisiones de contaminantes por unidad de producto que las empresas generan (antes de la aplicación de la política ambiental).⁸ Por otro lado, z y z^* , simbolizan la cantidad de contaminantes que las empresas emitirán después de la aplicación de la política ambiental, en el entendido de que puede resultar más rentable para ellas reducir sus emisiones que pagar más por concepto de impuestos de contaminación. En este sentido, τ y τ^* , denotan a los impuestos de contaminación por unidad de contaminación emitida, que el gobierno aplica a las empresas por el acto de contaminar, de tal suerte que si la empresa contamina entonces paga. De tal suerte que el gobierno controla las emisiones de las empresas cobrando un gravamen por la contaminación generada. Finalmente, de (17), (18), (19) y (20), podemos concluir que los costos marginales de las empresas para el país local y el país extranjero son,

$$(21) \quad k = c + \gamma(\theta - z) + \tau z$$

⁸ Por simplicidad el parámetro θ es el mismo en ambos países.

$$(22) \quad k^* = c^* + \gamma^*(\theta - z^*) + \tau^*z^*$$

Ahora bien, es claro que si el impuesto de contaminación es más alto que el costo por abatir una unidad de contaminación, las empresas preferirían no contaminar, pues es preferible un gasto menor en reducir las emisiones que un gasto mayor por concepto de impuestos ambientales. Y en caso contrario, si el impuesto de contaminación es menor al costo de abatimiento, las empresas no reducirían sus emisiones en absoluto, ya que es mejor pagar por un impuesto que es menor en monto que el gasto que se erogarí­a por abatir la contaminación. Lo cual podemos expresar de la siguiente manera,

$$(23) \quad z = \begin{cases} 0 & \text{si } \tau \geq \gamma \\ \theta & \text{si } \tau < \gamma \end{cases}$$

$$(24) \quad z^* = \begin{cases} 0 & \text{si } \tau^* \geq \gamma^* \\ \theta & \text{si } \tau^* < \gamma^* \end{cases}$$

Aplicando (23) y (24) en (21) y (22), se infiere que,

$$(25) \quad k = \begin{cases} c + \gamma\theta & \text{si } \tau \geq \gamma \\ c + \tau\theta & \text{si } \tau < \gamma \end{cases}$$

$$(26) \quad k^* = \begin{cases} c^* + \gamma^*\theta & \text{si } \tau^* \geq \gamma^* \\ c^* + \tau^*\theta & \text{si } \tau^* < \gamma^* \end{cases}$$

Finalizaremos esta sección definiendo la función de bienestar para el país local y el país extranjero, W y W^* como sigue,

$$(27) \quad W = CS + \pi + \tau Z - \psi Z$$

$$(28) \quad W^* = CS^* + \pi^* + \tau^* Z^* - \psi^* Z^*$$

En la función de bienestar general, CS y CS^* representan el excedente del consumidor para el país local y el país extranjero, respectivamente, según Keen, Lahiri y Møller (2002) y dado que los mercados están integrados se definen por,

$$(29) \quad dCS = -DdP_w$$

$$(30) \quad dCS^* = -D^*dP_w$$

Para describir el tercer y cuarto componentes de la función de bienestar general en (27) y (28), definimos Z y Z^* como la cantidad total de emisiones generadas por las

empresas correspondientes al país local y al país extranjero. Así, utilizando (23) y (24) pueden ser expresadas por,

$$(31) \quad Z = \begin{cases} 0 & \text{si } \tau \geq \gamma \\ \theta x & \text{si } \tau < \gamma \end{cases}$$

$$(32) \quad Z^* = \begin{cases} 0 & \text{si } \tau^* \geq \gamma^* \\ \theta x^* & \text{si } \tau^* < \gamma^* \end{cases}$$

En este sentido, el término de la función de bienestar, τZ y $\tau^* Z^*$, en (27) y (28), representan el ingreso del gobierno por concepto del cobro de impuestos de contaminación en uno y otro país de parte de las empresas.

Finalmente, el cuarto término de la función de bienestar, en (27) y (28), ψZ y $\psi^* Z^*$, representan el impacto de los contaminantes emitidos al ambiente por las empresas nacionales. Así ψ y ψ^* se definen como la desutilidad marginal por unidad de contaminación emitida para el país local y el país extranjero respectivamente, que suponemos constante según Lahiri y Ono (2000) y Markusen, Morey y Olewiler (1993) y Markusen, Morey y Olewiler (1995).⁹

■ *Estática comparativa*

Para el cálculo del impuesto de contaminación óptimo notemos que de acuerdo con (23) y (24), este solamente tiene sentido cuando el impuesto es menor al costo de abatimiento; es decir, cuando las empresas prefieren pagar el impuesto sin reducir en lo más mínimo sus emisiones de contaminación. Es claro que en este caso la función de bienestar general si depende del impuesto de contaminación. Por lo tanto, $z = z^* = \theta$, mantendremos este supuesto en desarrollo posterior del modelo, a menos que se especifique lo contrario. Con el objetivo de analizar los efectos de las variaciones del impuesto de contaminación en cada uno de los componentes de la función de bienestar general, calcularemos la derivada de cada uno de sus términos.

En primer lugar calcularemos el diferencial total del excedente del consumidor respecto del impuesto de contaminación. Al sustituir (21) y (22) en (16) y obteniendo la derivada de P_w en función de τ y τ^* tenemos,

$$(33) \quad \frac{dP_w}{d\tau} = \frac{1}{3}\theta > 0$$

$$(34) \quad \frac{dP_w}{d\tau^*} = \frac{1}{3}\theta > 0$$

⁹ Algunos autores como Asako (1979), consideran que la desutilidad marginal es variable y depende de manera directa del nivel de producción de las empresas. No obstante, este supuesto alternativo no contradice nuestros cálculos posteriores.

Y al sustituir (33) y (34) en (29), y (33) y (34) en (30) tenemos el diferencial total del excedente del consumidor,

$$(35) \quad dCS = -\frac{D\theta}{3}d\tau - \frac{D\theta}{3}d\tau^*$$

$$(36) \quad dCS^* = -\frac{D^*\theta}{3}d\tau^* - \frac{D^*\theta}{3}d\tau$$

Las dos expresiones anteriores, dado que la derivada del excedente del consumidor respecto del impuesto de contaminación es negativa, implican que un aumento en el impuesto de contaminación repercute de manera adversa en el excedente del consumidor, ya que se incrementarían de manera significativa los costos de producción para las empresas, lo cual conlleva un alza en los precios finales al consumidor. Análogamente, al reducirse el monto del impuesto de contaminación, esto se traduciría en precios más bajos, y por ende, se elevaría el excedente del consumidor.

En segundo lugar calculamos el diferencial total de la utilidad de las empresas, en función del impuesto de contaminación. Al reemplazar (14) en (5) y (15) en (6) se obtiene,

$$(37) \quad \pi = \frac{x^2}{b} - F$$

$$(38) \quad \pi^* = \frac{x^{*2}}{b} - F^*$$

Sustituyendo (16) en (14), y luego, (16) en (15) se tiene que,

$$(39) \quad x = b\left(\frac{a}{3b} + \frac{k+k^*}{3} - k\right)$$

$$(40) \quad x^* = b\left(\frac{a}{3b} + \frac{k+k^*}{3} - k^*\right)$$

Al reemplazar (21) en (39) y (22) en (40), se obtiene el diferencial total de x y x^* , como se muestra a continuación,

$$(41) \quad dx = -\frac{2b\theta}{3}d\tau + \frac{\theta}{3}d\tau^*$$

$$(42) \quad dx^* = -\frac{2b\theta}{3}d\tau^* + \frac{\theta}{3}d\tau$$

Posteriormente, utilizando (37) y (41), por un lado, y (38) y (42), por otro lado, resulta la diferencial total de la utilidad de las empresas con respecto al impuesto de contaminación,

$$(43) \quad d\pi = -\frac{4}{3}\theta x d\tau + \frac{2}{3}\theta x d\tau^*$$

$$(44) \quad d\pi^* = -\frac{4}{3}\theta x^* d\tau^* + \frac{2}{3}x\theta d\tau$$

Las dos fórmulas anteriores, implican que si el gobierno disminuye el impuesto de contaminación, entonces los costos marginales de producción también decaen, lo cual favorece a las empresas locales que aumentan su competitividad respecto de las empresas extranjeras que disminuyen en consecuencia su excedente del productor.

En tercer lugar obtenemos el diferencial total del ingreso tributario por concepto de impuestos de contaminación, utilizando (31) y (41) para el país local, y (32) y (42) para el país extranjero resulta,

$$(45) \quad d(\tau Z) = \theta\left(x - \frac{2}{3}b\theta\tau\right)d\tau + \frac{1}{3}b\theta^2\tau d\tau^*$$

$$(46) \quad d(\tau^* Z^*) = \theta\left(x^* - \frac{2}{3}b\theta\tau^*\right)d\tau^* + \frac{1}{3}b\theta^2\tau^* d\tau$$

Las dos expresiones anteriores muestran que el efecto de las variaciones del impuesto de contaminación es ambiguo en el ingreso tributario del gobierno. Por un lado, si el impuesto de contaminación se incrementa esto aumenta, en primera instancia, la recaudación del gobierno, pero al mismo tiempo repercute en un mayor costo marginal para las empresas, lo que desincentiva la producción, y por consiguiente hay un menor pago de impuestos. Por otro lado, si el impuesto de contaminación disminuye, también baja, de entrada, el ingreso tributario del gobierno, pero las empresas reducen sus costos marginales, lo cual fomenta la producción, y por lo tanto sus contribuciones al gobierno por concepto de impuestos.

Finalmente, calculamos el diferencial total del costo social por contaminar en función del impuesto de contaminación, nuevamente utilizando (31) y (41) para el país local, y (32) y (42) para el país extranjero resulta lo siguiente,

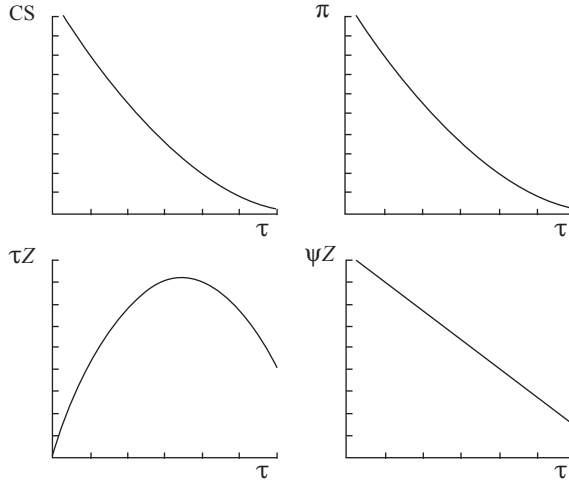
$$(47) \quad d(\psi Z) = -\psi\frac{2}{3}b\theta^2 d\tau + \frac{1}{3}b\theta^2 d\tau^*$$

$$(48) \quad d(\psi^* Z^*) = -\psi^*\frac{2}{3}b\theta^2 d\tau^* + \frac{1}{3}b\theta^2 d\tau$$

De las dos ecuaciones anteriores se puede inferir que si disminuye el impuesto de contaminación se induce una mayor producción y consumo de bienes por la reducción de los costos marginales de las empresas. Y obviamente, a mayor producción y consumo, se incrementan de manera significativa la emisión de contaminantes en el ambiente. Por lado, esta disminución en el impuesto de contaminación reduce la competitividad de las empresas extranjeras, si bien su medio ambiente mejora sustancialmente.

La Figura 1 es el resultado de una sencilla simulación para un conjunto arbitrario de parámetros que muestra el comportamiento de los cuatro componentes de la función de bienestar explicados en los párrafos anteriores para el mismo dominio de valores de τ .

Figura 1
Comportamiento de los componentes de la función de bienestar



Fuente: Elaboración propia.

Combinando (27) con (35), (43), (45) y (47), y similarmente (28) con (36), (44), (46) y (48) resulta la diferencial total de W y W^* ,

$$(49) \quad dW = T_1 d\tau + T_2 d\tau^*$$

$$(50) \quad dW^* = T_3 d\tau^* + T_4 d\tau$$

Donde,

$$(51) \quad T_1 = -\frac{D\theta}{3} - \frac{4}{3}\theta x + \theta\left(x - \frac{2}{3}b\theta\tau\right) + \psi\frac{2}{3}b\theta^2$$

$$(52) \quad T_2 = -\frac{D\theta}{3} + \frac{2\theta}{3} + \frac{1}{3}b\theta^2\tau - \frac{1}{3}b\theta^2$$

$$(53) \quad T_3 = -\frac{D^*\theta}{3} - \frac{4}{3}\theta x^* + \theta\left(x^* - \frac{2}{3}b\theta\tau^*\right) + \psi^*\frac{2}{3}b\theta^2$$

$$(54) \quad T_4 = -\frac{D^*\theta}{3} + \frac{2\theta}{3} + \frac{1}{3}b\theta^2\tau^* - \frac{1}{3}b\theta^2$$

■ *Impuesto de contaminación óptimo en ambiente no cooperativo*

Para determinar el impuesto de contaminación óptimo para la función de bienestar general, hacemos $dW/d\tau = 0$ y $dW^*/d\tau = 0$, de esta manera,

$$(55) \quad \frac{dW}{d\tau} = T_1 = 0$$

$$(56) \quad \frac{dW^*}{d\tau} = T_3 = 0$$

Resolviendo las ecuaciones anteriores para calcular el impuesto óptimo en ambiente no cooperativo tenemos,

$$(57) \quad \tau^{NC}(2b\theta) = 2b\theta\psi - D - x$$

$$(58) \quad \tau^{*NC}(2b\theta) = 2b\theta\psi^* - D^* - x^*$$

Por otro lado, las condiciones de concavidad implican que,

$$(59) \quad \frac{d^2 W}{d\tau^2} = \frac{1}{9}\theta^2(\beta - 4b) < 0$$

$$(60) \quad \frac{d^2 W^*}{d\tau^{*2}} = \frac{1}{9}\theta^2(\beta^* - 4b) < 0$$

De la ecuaciones (59) y (60) y ya que $b = \beta + \beta^*$ se deduce que,

$$(61) \quad \frac{d^2 W}{d\tau^2} = -3\beta - 4\beta^* < 0$$

$$(62) \quad \frac{d^2 W^*}{d\tau^{*2}} = -3\beta^* - 4\beta < 0$$

Como β y β^* son positivos, de las desigualdades anteriores se infiere la función de bienestar general es cóncava en ambos países.

Ahora bien de (57) y (58) podemos deducir dos resultados generales que dependen de la determinación de la magnitud y el signo del impuesto de contaminación. Si la magnitud de la desutilidad por contaminar, ψ o ψ^* , es muy grande, en el primer término del miembro derecho en ambas ecuaciones, entonces, τ y τ^* son positivos. En caso contrario, si la desutilidad marginal por contaminar es muy pequeña, entonces el impuesto de contaminación es menor o igual a cero, pero como por definición el impuesto

de contaminación no puede ser negativo, se deduce que debe ser cero. Enunciaremos las observaciones anteriores en la proposición siguiente.

Proposición 1. *En el equilibrio no cooperativo para el mercado internacionalmente integrado de un bien homogéneo, el impuesto de contaminación óptimo es:*

- a) Si $\psi \gg 0$, entonces $\tau^{NC} > 0$
 Si $\psi^* \gg 0$, entonces $\tau^{*NC} > 0$
- b) Si $\psi \rightarrow 0$, entonces $\tau^{NC} = 0$
 Si $\psi^* \rightarrow 0$, entonces $\tau^{*NC} = 0$

La proposición anterior puede ser descrita en términos intuitivos de la siguiente manera: si la desutilidad marginal por contaminar es significativamente alta, entonces los gobiernos deberán aplicar un impuesto oneroso a las empresas. En este sentido, cuando los daños por contaminar son considerables, el gobierno debe proteger preponderantemente el medio ambiente, y por tanto, incrementa el monto del impuesto de contaminación a las empresas obligándolas a reducir sus emisiones; en caso contrario estas deberán pagar más por concepto de impuestos al gobierno. Obviamente, al incrementarse cada vez más el costo social por contaminar, el monto del impuesto también se eleva, en palabras simples, el que contamina más paga más.

Adicionalmente, al gravar las emisiones con un impuesto de contaminación positivo, los costos marginales de producción también suben, de tal manera que se reducen los beneficios de las empresas debido a la disminución de la utilidad marginal. También los consumidores resultarán negativamente afectados en su nivel de consumo, ya que generalmente al elevarse los costos de producción, el precio de los bienes se incrementa. Resumiendo, la política ambiental óptima aplicando los impuestos de contaminación consiste en gravar a las empresas con un impuesto alto reduciendo considerablemente el daño ambiental, aunque esto genere un efecto adverso en el bienestar de los países que se manifiesta principalmente en la reducción de los beneficios de las empresas y del excedente del consumidor.

Adicionalmente, si la desutilidad marginal por contaminar se reduce de manera drástica entonces el impuesto de contaminación es nulo. En otras palabras, si el daño social por contaminar disminuye de manera significativa a causa de las emisiones de contaminantes, el gobierno opta por no aplicar impuesto de contaminación; de esta manera, la política ambiental favorece la productividad de las empresas al reducir los costos marginales de los bienes manufacturados con lo que sube la utilidad marginal y el beneficio de las empresas, de igual manera los consumidores se benefician pues a menores costos de producción, los precios finales suelen bajar con lo que se incentiva el consumo. Por supuesto, que existe un efecto negativo adverso, ya que al auspiciar cada vez más la productividad de las empresas, por el gravamen cero, también se generan mayor cantidad de contaminantes, cuyo efecto agregado menoscaba, de algún modo, la salud del medio ambiente de los países internacionalmente integrados.

■ *Impuesto de contaminación óptimo en ambiente cooperativo*

Después de determinar las políticas óptimas no cooperativas, calcularemos ahora los impuestos de contaminación óptimos en un ambiente cooperativo. Es decir, el país local implementará el impuesto óptimo considerando no solo su propio bienestar, sino también la repercusión de tal política ambiental en el bienestar del país extranjero. Similarmente el país extranjero establecerá el valor de su impuesto de contaminación. Formalmente, a partir (49) y (50) tenemos,

$$(63) \quad dW = (T_1 + T_4)d\tau$$

$$(64) \quad dW^* = (T_2 + T_3)d\tau^*$$

Por simplicidad y sin pérdida de generalidad, suponemos que $\psi = \psi^*$, ya que en el escenario cooperativo podemos asumir que la desutilidad marginal por contaminar es la misma en ambos países, ya que salvo algunas excepciones particulares, el daño que causa la contaminación sobre cualquier ser humano es generalmente similar, más aun considerando que se trata de establecer políticas que beneficien a ambos países. Por lo tanto, para calcular los impuestos óptimos, igualamos a cero $T_1 + T_4$ y $T_2 + T_3$,

$$(65) \quad T_1 + T_4 = -\frac{1}{3}\theta(x + D + D^* + 2b\theta\tau - 2x^* - b\theta\psi - b\theta\tau^*) = 0$$

$$(66) \quad T_2 + T_3 = -\frac{1}{3}\theta(x^* + D^* + D + 2b\theta\tau^* - 2x - b\theta\psi - b\theta\tau) = 0$$

Resolvemos el sistema de ecuaciones simultáneas resultante, obteniendo los impuestos de contaminación óptimos en un ambiente cooperativo,

$$(67) \quad \tau^c(b\theta) = b\theta\psi - x$$

$$(68) \quad \tau^{*c}(b\theta) = b\theta\psi - x^*$$

Ahora bien, las condiciones de concavidad para el ambiente cooperativo implican que,

$$(69) \quad \frac{d^2 W}{d\tau^2} = -\frac{1}{9}b\theta^2 < 0$$

$$(70) \quad \frac{d^2 W^*}{d\tau^{*2}} = -\frac{1}{9}b\theta^2 < 0$$

Luego, la función de bienestar es cóncava.

De las expresiones (67) y (68) podemos notar que el signo del impuesto óptimo bajo el escenario cooperativo depende, en última instancia de la magnitud de ψ y, la desu-

tilidad marginal por contaminar. Si ψ y es muy alta, el impuesto es positivo y en caso contrario el impuesto es nulo. Lo cual podemos enunciar en la siguiente proposición.

Proposición 2. *En el equilibrio cooperativo para el mercado internacionalmente integrado de un bien homogéneo, el impuesto de contaminación óptimo es:*

- a) Si $\psi \gg 0$, entonces $\tau^c > 0$ y $\tau^{*c} > 0$
 b) Si $\psi \rightarrow 0$ entonces $\tau^c = 0$ y $\tau^{*c} = 0$

La proposición anterior puede interpretarse en términos similares a la proposición 1.

Ahora bien, si equiparamos los impuestos de contaminación en entorno cooperativo para determinar políticas diferenciadas, podemos efectuar la sustracción de las expresiones (67) y (68), y utilizar posteriormente (39) y (40) de lo que resulta,

$$(71) \quad \tau^c - \tau^{*c} = \frac{1}{\theta}(k - k^*)$$

Similarmente, al comparar los impuestos de contaminación óptimos tanto bajo ambiente no cooperativo como no cooperativo, al calcular la diferencia entre (57) y (67), por un lado, y de (58) y (68), por otro lado, obtenemos lo siguiente,

$$(72) \quad \tau^{NC} - \tau^c = \frac{1}{2b\theta}(x - D)$$

$$(73) \quad \tau^{*NC} - \tau^{*c} = \frac{1}{2b\theta}(x^* - D^*)$$

De las tres ecuaciones anteriores podemos inferir la siguiente proposición,

Proposición 3.

a) *Al comparar los impuestos de contaminación bajo el escenario cooperativo resulta que si $\psi \gg 0$,*

$$\tau^c > \tau^{*c} \text{ si } k > k^*$$

b) *Al comparar los impuestos de contaminación bajo los escenarios cooperativo y no cooperativo resulta que si $\psi \gg 0$,*

$$\tau^{NC} > \tau^c \text{ si } x > D$$

$$\tau^{*NC} > \tau^{*c} \text{ si } x^* > D^*$$

La proposición anterior se puede explicar fácilmente en términos intuitivos. El primer inciso de la proposición anterior implica que en el ambiente cooperativo el país más ineficiente se impone un gravamen más bajo respecto del país más eficiente con

lo cual se compensa de algún modo esa desventaja debida a la diferencia de los costos marginales entre ambos países, estableciéndose de esta forma cierta equidad en la estructura de costos entre dichos países que están comercialmente integrados en el mercado del bien homogéneo. Se puede notar que lo que impera en este caso es el espíritu colaborativo entre los dos países.

El segundo inciso de la proposición 3 implica, en primer lugar, si el nivel de producción de un país es mayor que su demanda interna entonces el impuesto óptimo de contaminación en el escenario no cooperativo es mayor que en el ambiente cooperativo; en este caso el gobierno debe cobrar más en el escenario no cooperativo, ya que de esta manera se desincentiva su producción, lo cual beneficia a las empresas foráneas, aumentando su competitividad e induciendo mayor equilibrio en la producción global del bien en cuestión. Por el contrario, el impuesto de contaminación en el escenario no cooperativo es menor que en el ambiente cooperativo si el nivel de producción del bien homogéneo no satisface la demanda interna, pues en este caso el gobierno procura fomentar la productividad de la empresa local, cobrando un impuesto más pequeño, lo cual reduce de alguna manera los costos de producción, logrando con esto mayor competitividad en función de la empresa extranjera, y provocando adicionalmente mayor equidad entre las empresas del mercado integrado.

De acuerdo con las observaciones anteriores es claro que bajo ambiente no cooperativo se impone el beneficio del país que impone el gravamen, mientras que en el escenario cooperativo se valora más el beneficio conjunto del mercado integrado al calcular la magnitud del impuesto de contaminación. De esta manera, el nivel de producción de las empresas y la demanda de los consumidores ponderan el monto del impuesto de contaminación dependiendo de los escenarios de colaboración o no colaboración de los países que conforman el mercado internacionalmente integrado.

Por otro lado, la función W no es necesariamente continua respecto de τ . Por la manera en que está definida k , el único punto de discontinuidad posible es $\tau = \gamma$. Si analizamos la probable discontinuidad de W en $\tau = \gamma$, calculando límites unilaterales y usando (27), (23), (25) y (31) tenemos que,

$$(74) \quad \lim_{\tau \rightarrow \gamma^-} W = CS + \pi + \tau Z - \psi Z$$

$$\lim_{\tau \rightarrow \gamma^+} W = CS + \pi$$

$$(75) \quad \lim_{\tau \rightarrow \gamma^-} W = CS + \pi + \tau Z - \psi Z$$

$$\lim_{\tau \rightarrow \gamma^-} W = CS + \pi + \gamma \theta x - \psi \theta x$$

$$\lim_{\tau \rightarrow \gamma^+} W = CS + \pi + (\gamma - \psi) \theta x$$

De (74) y (75) resulta que,

$$(76) \quad \lim_{\tau \rightarrow \gamma^+} W - \lim_{\tau \rightarrow \gamma^-} W = (\gamma - \psi)\theta x$$

De la ecuación anterior podemos deducir lo siguiente,

$$(77) \quad \lim_{\tau \rightarrow \gamma^+} W - \lim_{\tau \rightarrow \gamma^-} W > 0 \quad \text{si } \gamma > \psi$$

$$(78) \quad \lim_{\tau \rightarrow \gamma^+} W - \lim_{\tau \rightarrow \gamma^-} W = 0 \quad \text{si } \gamma = \psi$$

$$(79) \quad \lim_{\tau \rightarrow \gamma^+} W - \lim_{\tau \rightarrow \gamma^-} W < 0 \quad \text{si } \gamma < \psi$$

Note que podemos replicar el razonamiento anterior para la función de bienestar general en el país extranjero, W^* , y obtener por analogía las tres fórmulas anteriores. Podemos conjuntar las expresiones (77), (78) y (79) referentes al país local, así como las expresiones análogas correspondientes al país extranjero en la proposición subsiguiente.

Proposición 4. Si $\psi \geq \gamma(\psi \geq \gamma^*)$ entonces $\tau^{NC} \geq \gamma(\tau^{*NC} \geq \gamma^*)$, luego las empresas no contaminan. En caso contrario, si $\psi < \gamma(\psi < \gamma^*)$ entonces $\tau^{NC} < \gamma(\tau^{*NC} < \gamma^*)$, por tanto, las empresas no reducen la emisión de contaminantes.

La proposición anterior se puede explicar intuitivamente en los siguientes términos: si la desutilidad marginal por contaminar es muy grande en relación con el costo de abatimiento por unidad de contaminación emitida, entonces el impuesto de contaminación óptimo también es mayor al costo de abatimiento, por lo que en este caso, las empresas optan por no contaminar, ya que es más barato pagar por no contaminar, que costear un impuesto oneroso. Por otro lado, si la desutilidad por contaminar es menor que el costo de abatimiento, entonces el impuesto de contaminación también es más pequeño que el costo de abatimiento, por tanto las empresas prefieren seguir contaminando en la misma medida, sin reducir en lo más mínimo sus emisiones, pues obviamente el gasto de reducir la contaminación es más caro que pagar el impuesto correspondiente a la emisión de contaminantes.

■ Conclusiones

De los resultados del modelo se pueden establecer cinco conclusiones importantes. En primer lugar, si la desutilidad marginal por contaminar es significativamente alta, el gobierno debe establecer un impuesto de contaminación positivo; es decir, debe gravar la emisión de contaminantes proporcionalmente al costo marginal causado por la contaminación.

En segundo lugar, si la desutilidad por contaminar no es significativa, el gobierno puede optar por no cobrar impuestos de contaminación, lo cual favorece claramente la competitividad de las empresas en el ámbito mundial, traduciéndose en la disminución de los costos marginales de producción con el consiguiente incremento de los benefi-

cios económicos; por otro lado, las empresas pueden mantener precios razonables a las personas, y de esta forma, aumenta el excedente del consumidor.

Como tercer resultado, tenemos que al comparar los impuestos de contaminación bajo el esquema cooperativo, el país más eficiente se impone un gravamen más alto respecto del país más ineficiente con lo cual se contrarresta dicha ventaja lográndose así cierto equilibrio en los costos marginales de producción entre ambos países que integran el mercado del bien homogéneo.

En cuarto lugar, al comparar el monto del impuesto óptimo bajo el escenario cooperativo y no cooperativo para un país en particular. Concluimos que si la producción de un país es mayor que su demanda interna, entonces el impuesto de contaminación en el entorno cooperativo es más alto que en el entorno no cooperativo, con lo cual se favorece la competitividad del otro país con el cual se está integrado comercialmente. Así mismo, si el nivel de producción de un país no satisface su propia demanda, entonces el impuesto de contaminación en el ambiente no cooperativo es menor que en el ambiente cooperativo, lo cual fomenta la competitividad del propio país respecto del otro país del mercado integrado.

Finalmente, como quinta conclusión, si la desutilidad marginal por contaminar es mayor que el costo de abatimiento entonces el impuesto óptimo debe ser también mayor que el costo por abatir la contaminación, luego las empresas optan por no contaminar en absoluto. En el caso opuesto, cuando la desutilidad marginal por contaminar es menor al costo de abatimiento, y por ende, el impuesto óptimo es más pequeño que el costo por abatir la contaminación, entonces las empresas deciden no reducir en lo más mínimo sus emisiones de contaminantes.

Resumiendo, el modelo propuesto enfatiza la implantación de políticas ambientales racionales y estratégicas que actúen bajo dos premisas complementarias y contrapuestas. Por un lado, fomentar la competitividad de las empresas en el mercado internacional, atendiendo también el beneficio de los consumidores y el ingreso del gobierno vía recaudación tributaria por concepto de los impuestos de contaminación. Y por otro lado, garantizar el crecimiento sustentable, la preservación de los recursos naturales y un medio ambiente razonablemente limpio.

■ *Bibliografía*

- Asako, K. (1979). Environmental pollution in an open economy. *Economic Record*, 55 (151), 359-367.
- Balassa, B. (1966). Tariff reductions and trade in manufactures. *American Economic Review*, 56, 466-473.
- Brander, J. A. (1981). Intra-industry trade in identical commodities. *Journal of International Economics*, 11, 1-14.
- Brander, J. A. & Krugman, P. (1983). A 'reciprocal dumping' model of international trade. *Journal of International Economics*, 15, 313-321.
- Cropper, M. L. & Oates, W. E. (1992). Environmental economics: A survey. *Journal of Economic Literature*, 30, 675-740.

- Keen, M. & Lahiri, S. (1993). Domestic tax reform and international oligopoly. *Journal of Public Economics*, 51 (1), 55-74.
- Keen, M. & Lahiri, S. (1998). The comparison between destination and origin principles under imperfect competition. *Journal of International Economics*, 45, 323-350.
- Keen, M., Lahiri, S. & Møller, R. (2002). Tax principles and tax harmonization under imperfect competition: A cautionary example. *European Economic Review*, 46 (8), 1559-1568.
- Kayalica, O. & Espinosa, S. (2017). Environmental quota in an asymmetric trade competition with heterogeneous firms. En O. Kayalica, S. Kagatay & H. Mihci (Eds.), *Economics of International Environmental Agreements*. Nueva York, EE.UU.: Routledge.
- Kayalica, O. & Yilmaz, E. (2006). Intra-industry trade and consumption-generated pollution externalities. *Yapi Kredi Economic Review*, 17 (1), 79-94.
- Krugman, P. (1979). Increasing returns, monopolistic competition and international trade. *Journal of International Economics*, 9, 469-479.
- Lahiri, S. & Ono, Y. (2000). Protecting environment in the presence of foreign direct investment: Tax versus quantity restriction. Mimeo. EE.UU.: Department of Economics, University of Essex.
- Lancaster, K. (1980). Intra-industry trade under perfect monopolistic competition. *Journal of International Economics*, 11 (4), 531-551.
- Markusen, J. R. (1981). Trade and the gains from trade with imperfect competition. *Journal of International Economics*, 11 (4), 531-555.
- Markusen, J. R., Morey, E. R. & Olewiler, N. (1993). Environmental policy when market structure and plant locations are endogenous. *Journal of Environmental Economics and Management*, 24, 69-86.
- Markusen, J. R., Morey, E. R. & Olewiler, N. (1995). Competition in regional environmental policies when plant locations are endogenous. *Journal of Public Economics*, 56, 55-57.
- Markusen, J. R. & Venables, A. (1988). Trade policy with increasing returns and imperfect competition: Contradictory results from competing assumptions. *Journal of International Economics*, 24 (3), 299-316.
- Mohleji, S. & Pielke, R. A. (2014). Reconciliation of trends in global and regional economic losses from weather events: 1980-2008. *Natural Hazards Review*, 15 (4), 1-9.
- Pielke, R. A., Gratz, J., Landsea, C. W., Collins D., Saunders, M. A. & Musulin, R. (2008). Normalized hurricane damage in the United States: 1900-2005. *Natural Hazards Review*, 9 (1), 29-42.
- Sandoval, S. & Coronado, S. (2011). Dumping recíproco, contaminación transfronteriza y políticas medioambientales. *Panorama Económico*, 7 (14), 97-120.
- United Nations Environment Programme-UNEP. (2012). UNEP 2012. Annual Report. Recuperado el 7 abril de 2016, de http://www.UNEP.org/gc/gc27/docs/UNEP_ANNUAL_REPORT_2012.pdf
- Venables, A. J. (1990). The economic integration of oligopolistic markets. *European Economic Review*, 34 (4), 753-769.