



Pontificia Universidad Javeriana
Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas
Carrera de economía

Proyecto de Investigación del Pregrado en Economía

Título:

**Efectos de la regulación ambiental unilateral sobre los términos de
intercambio de una economía en desarrollo**

Autor:

Angélica Lucía Pinto Trespacios

Director:

Gonzalo Hernández Jiménez

Bogotá D.C.

2023

Abstract

Este trabajo de investigación estudia la incidencia de un impuesto al uso del petróleo, adoptado en un país desarrollado, sobre los términos de intercambio de un país en desarrollo. Donde además, se asume que la economía desarrollada tiene poder de mercado, mientras que la economía en desarrollo es precio aceptante y además, se especializa completamente en la extracción de petróleo. Este trabajo fue motivado por discusiones e investigaciones pasadas que muestran que las políticas ambientales tienen afectaciones a nivel comercial, y trabajos que muestran la relevancia que tienen fluctuaciones en los términos de intercambio sobre los ingresos y la estabilidad económica de los países en desarrollo. Tras desarrollar un modelo teórico que permite analizar los mecanismos de transmisión de un impuesto al uso del petróleo sobre los términos de intercambio, se encontró que la transición energética liderada por países desarrollados, generan efectos colaterales en países en vía de desarrollo. Específicamente en el largo plazo, el país en vía de desarrollo enfrentara cambios desfavorables sobre los términos de intercambio, mientras que la economía desarrollada se verá beneficiada, en especial gracias a que esta tiene la capacidad de especializarse en industrias no contaminantes.

I. Introducción

Actualmente, nos enfrentamos a una pérdida constante de biodiversidad, a desastres naturales cada vez más frecuentes e intensos, así como un incremento en el nivel del mar a causa del aumento en la temperatura global. Previendo las afectaciones del cambio climático, en el 2015 por medio del Acuerdo de París se llegó al consenso de limitar dicho aumento en las temperaturas. Ahora bien, en el 2018 el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el cambio climático afirmó que, con el fin de no sobrepasar un aumento en las temperaturas de 1.5°C debía haber una reducción completa en las emisiones de carbono para el 2050 (Welch, C.; 2020). No es entonces sorprendente que el actual presidente de Estados Unidos se haya comprometido a consolidar una economía que alcance la neutralidad de carbono en el 2050. Dicho anuncio explica la relevancia que la regulación ambiental tiene actualmente dentro de su agenda estatal, en particular, haciendo gran énfasis en los instrumentos de regulación como: los precios al carbono (*cap and trade* e impuestos a las emisiones), los estándares y los subsidios a la innovación y al desarrollo tecnológico.

No obstante, la regulación ambiental puede tener una repercusión comercial, puesto que medidas como la creación de impuestos al carbono tienen la capacidad de afectar de manera directa los términos de intercambio de los países que adoptan la regulación ambiental (Schlotz, 1998). Dicha afectación sobre los términos de intercambio ocurre fundamentalmente mediante dos canales. El primero está asociado a los efectos sobre los precios generados por cambios en la demanda de ciertos bienes. En especial, cuando dichos cambios en la demanda ocurren en economías que influyen sobre los precios internacionales, tal como se puede evidenciar en la caída de los precios del petróleo, carbón y gas natural como resultado de una disminución en la demanda de combustibles fósiles en la Unión Europea (MCC Policy Brief No. 7, 2020). El segundo mecanismo se refiere a los efectos sobre los precios de los bienes finales, como consecuencia de un cambio en los costos de producción luego de establecer impuestos o subsidios a distintos bienes o servicios. Un ejemplo de esta situación, es el aumento de los costos de producción luego de la implementación de impuestos a la producción de bienes contaminantes; una situación que puede llevar a que la producción de bienes contaminantes sea trasladada a países que tengan una regulación ambiental más laxa. Esto a su vez muestra que la ausencia de regulación ambiental en el corto plazo puede ser una forma de atraer mayor capital y generar empleos. Dichos acontecimientos resultan consistentes con el modelo teórico desarrollado por Cumberland (1981), bajo el cual distintas localidades terminaban en una competencia autodestructiva donde cada vez permitían mayores niveles de degradación ambiental con el fin de atraer mayor capital y empleo a su localidad.

Ahora bien, para un país como Colombia cuyo principal socio comercial es Estados Unidos y además el 37% de las exportaciones a este país son de petróleo crudo (Atlas of Economic Complexity, 2022), la regulación ambiental estadounidense podría tener un efecto significativo sobre sus términos de intercambio. Algo que adquiere mayor relevancia al tener en cuenta que, estudios anteriores sugieren que los choques sobre los términos de intercambio pueden llegar a explicar alrededor de la mitad de la variación del PIB, y que además, las economías en desarrollo tienen mayor susceptibilidad ante dichos choques (Mendoza, 1995). Resultados que a su vez concuerdan con evidencia empírica que indica que para el caso de Colombia, los términos de intercambio han desempeñado un papel importante en la determinación de las variaciones de corto

plazo del PIB del país (Hernández, 2013), además de explicar la variabilidad de la inversión en un 8%, de la balanza comercial en un 6% y de la actividad económica en un 5% (Oviedo y Sierra, 2019). Por ende, la transición energética liderada en su mayoría por países desarrollados al afectar los términos de intercambio, podría tener efectos colaterales en países en vía de desarrollo cuyos ingresos además dependen en gran medida de la exportación de combustibles fósiles. De hecho, acorde a un estudio realizado por Carbon Tracker, se espera que aquellos estados que fundamentan su economía en el petróleo enfrenten una reducción en sus ingresos de 46% en los próximos veinte años (Sandri, 2021).

Con el fin de aportar a la discusión, el presente trabajo busca responder a la pregunta: ¿Cuál es el efecto de la regulación ambiental unilateral, sobre los términos de intercambio para una economía pequeña y abierta, cuando quién adopta la política ambiental tiene alto poder de fijación de precios a nivel internacional? Para esto, se desarrolló un modelo de comercio internacional, a partir del cual se analizaron los efectos de un impuesto al uso del petróleo sobre los términos de intercambio del país en desarrollo, cuando el petróleo es usado como insumo para la producción de bienes finales en la economía desarrollada. El modelo muestra que la regulación ambiental unilateral en el corto plazo impacta de manera negativa los términos de intercambio de la economía que adopta la regulación ambiental, pero genera un efecto positivo sobre los términos de intercambio para la economía en desarrollo. No obstante, en el largo plazo, cuando la oferta de petróleo adquiere un grado mayor de elasticidad, la economía en desarrollo enfrenta cambios sobre sus términos de intercambio que resultan desfavorables para el país.

II. Revisión de la Literatura

Analizar los cambios sobre los términos de intercambio es un tema relevante por los efectos que dichos choques pueden llegar a generar sobre el desempeño económico de los países. Tal como Mendoza (1995) expone, los choques sobre los términos de intercambio explican entre el 37% y el 56% de la variación del PIB en países en vía de desarrollo. Para el caso de Colombia, las variaciones del PIB de Colombia en el corto plazo responden en gran medida a variaciones en los términos de intercambio, específicamente, una desviación típica de 13% en los términos de intercambio equivale a un cambio del 34% de una desviación típica del crecimiento trimestral del

PIB, por lo que, un tercio de la variación trimestral del PIB en Colombia depende de los términos de intercambio (Hernández, 2013), más aún, entre los precios de los productos que más se exportan desde Colombia (Petróleo, carbón, café y níquel), son los precios del petróleo los que mayor incidencia tienen sobre el PIB en el corto plazo.

Lo anterior concuerda con otros estudios que muestran que los impactos distributivos del ingreso generados por cambios en los términos de intercambio ocurren principalmente por cambios en los precios de los combustibles fósiles (Böhringer, Lange, Rutherford., 2013). Schlotz (1998) también muestra mediante un modelo teórico que, para economías grandes, los impuestos al carbono no solo responden a objetivos en materia ambiental sino a su vez a objetivos comerciales. Aquellos países con capacidad de influir sobre los términos de intercambio, pueden utilizar la política ambiental como un política comercial. Más aún, si el sector en el cual se especializa el país no es intensivo en polución, lejos de perder competitividad, este se verá beneficiado ante la regulación ambiental, por lo que la estructura productiva de los países juega un papel crucial a la hora de analizar los efectos que la regulación ambiental unilateral pueda generar sobre los términos de intercambio para una economía pequeña. Böhringer, Lange, Rutherford, (2013) también sugieren que los precios de los combustibles fósiles responden a los precios al carbono, por lo que puede llegar a ser difícil distinguir si los países que apoyan precios diferenciales al carbono lo hacen pensando en sus implicaciones ambientales o en la posibilidad de explotar su poder de mercado a nivel internacional para manipular de manera estratégica los términos de intercambio.

No obstante, solo aquellos países con capacidad para influir sobre los precios internacionales, pueden usar políticas tributarias de manera estratégica para generar cambios favorables sobre los términos de intercambio. Piermartini (2004), encontró que cuando un país con poder de fijación de precios a nivel internacional implementa un impuesto a las exportaciones, esto genera una depreciación del precio local del bien, aumenta el precio a nivel internacional, reduce el volumen comercializado y disminuye el retorno de los factores de producción que se usan de manera intensiva para producir el bien con la implementación de la tarifa. Adicionalmente, el estudio de Piermartini muestra que la proporción del costo del impuesto que asumen consumidores extranjeros es mayor cuando la demanda es más inelástica y la oferta es más elástica. Solleder (2013), en cambio, muestra que, si bien aquellos exportadores con poder de fijación de precios, pueden trasladar la imposición tributaria a los importadores y beneficiarse de términos de

intercambio favorables; cuando un país sin poder de fijación de precios a nivel internacional crea un impuesto a las exportaciones, los productores prefieren suplir el mercado local y no al internacional, el aumento en la oferta local lleva a una reducción del precio y hay una reducción en el bienestar del país. Solleder también sugiere que la incidencia del impuesto afecta en mayor medida al grupo que tiene menor elasticidad.

Ahora bien, estudios como el de Muradian y Martinez-Alier (2000), muestran que cuando los costos ambientales de las exportaciones de recursos ambientales no se internalizan, los consumidores en países importadores de manera indirecta serían subsidiados a expensas de pérdidas en el bienestar y calidad del medio ambiente de los países exportadores. No obstante, los autores indican que aun cuando se implementan impuestos pigouvianos perfectos, las desigualdades sociales, las asimetrías en la explotación de recursos naturales y los efectos negativos de la polución entre distintos países, persisten. Frente a esta situación, Muradian y Martinez-Alier (2000) sugieren que la creación de un impuesto internacional al deterioro de recursos naturales permitiría una transferencia de recursos financieros de países desarrollados hacia países en vía de desarrollo que exporten recursos naturales. En este aspecto, el estudio enfatiza en que lo más importante no es la compensación financiera por la degradación del medio ambiente, sino que el dinero recaudado por impuestos a la explotación ambiental sea usado para desarrollar tecnologías que permitan salvaguardar los recursos naturales a futuro. Para aportar a los estudios ya realizados, el presente trabajo busca estudiar los efectos de la creación de un impuesto local al uso del petróleo en un país con poder de fijación de precios a nivel internacional, sobre los términos de intercambio, de un país precio aceptante que además se especializa en la extracción de petróleo.

III. Modelo Teórico

Este documento incluye un modelo teórico que tiene como objetivo estudiar el efecto de la regulación ambiental unilateral sobre los términos de intercambio entre dos economías, tanto en el corto como en el largo plazo. Específicamente, el modelo permite analizar el mecanismo de transmisión por medio del cual, la creación de un impuesto al uso del petróleo en una economía desarrollada, afecta los términos de intercambio de una economía en desarrollo.

Este modelo se supone que existen dos economías (A, B), donde no hay inversión ni gasto público, en donde ambas cuentan con dotaciones de petróleo O^j , capital físico K^j y trabajo L^j . Se establece que la economía A tiene poder de afectar los precios internacionales mientras que, el país B es precio aceptante.

Características del país A

Dicha economía extrae petróleo y produce bienes industriales de dos tipos (bienes industriales de bajo y alto impacto ambiental), donde el capital físico, la fuerza laboral y el petróleo representan los insumos usados en la producción de estos bienes.

Dicho país exportará bienes industriales al país B y dado que su oferta de petróleo no es suficiente para satisfacer su demanda, importará petróleo del país B.

Características del país B

Su única actividad productiva está determinada por la extracción de petróleo, un recurso que va a exportar en su totalidad al país A. Si bien el país B no produce bienes industriales, si los consume y dicha demanda será suplida en su totalidad mediante la importación de bienes industriales producidos por el país A.

La oferta de petróleo será perfectamente inelástica en el corto plazo, aumentando su elasticidad en el largo plazo, mientras que la demanda total por petróleo será elástica tanto en el corto como en el largo plazo y estará definida por la cantidad de petróleo que se demande para la producción de bienes industriales en el país A. La demanda por petróleo será suplida parcialmente por la producción de petróleo del país A y será satisfecha en su totalidad mediante la importación de petróleo producido en el país B.

I. Minimización del gasto de los hogares.

Los hogares en cada país ofrecen su mano de obra (L) a cambio de un salario (w), poseen capital (K) que rentan a un precio (r) y reciben dividendos por la extracción de petróleo (η). Los hogares en ambos países tienen preferencias idénticas, consumen bienes industriales de alto impacto

ambiental (H), a un precio p_H , y de bajo impacto ambiental (L), a un precio p_L , donde además consideran a los bienes industriales como sustitutos imperfectos entre sí.

a. Utilidad de los hogares

La función de utilidad de los hogares estará dada por:

$$(1) \quad u = [u(c) - v(L)]$$

De modo que, la utilidad aumentará con el consumo y enfrentarán una desutilidad por el trabajo.

La restricción presupuestal estará definida como:

$$(2) \quad c = wL + rK + \eta O$$

De modo que, la utilidad será equivalente a:

$$(3) \quad u = u(wL + rK + \eta O) - v(L)$$

b. Oferta de trabajo

La oferta de trabajo será el resultado de derivar la utilidad respecto a L

$$wu'(c) - v'(L) = 0$$

$$(4) \quad \frac{v'(L)}{u'(c)} = w$$

$w \rightarrow$ Tasa marginal de sustitución entre el consumo y el trabajo, y define el salario que reciben los hogares.

c. Consumo

El consumo agregado de bienes industriales de los hogares en ambos países estará dado por el agregador de consumo de la forma CES, Dixit-Stiglitz. Donde c_H representa el consumo de bienes industriales de alto impacto ambiental y c_L representa el consumo de bienes industriales de bajo impacto ambiental.

$$(5) \quad C = \left(\frac{1}{2} \left(c_H^{\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon}} + c_L^{\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon}} \right) \right)^{\frac{\varepsilon}{\varepsilon-1}} \rightarrow \text{Consumo agregado}$$

El gasto de los hogares estará definido por:

$$(6) \quad \frac{1}{2} (p_H c_H + p_L c_L)$$

Y los hogares minimizan el gasto sujeto al consumo agregado

$$\mathcal{L} = \frac{1}{2} (p_H c_H + p_L c_L) - \lambda \left\{ \left(\frac{1}{2} \left(c_H^{\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon}} + c_L^{\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon}} \right) \right)^{\frac{\varepsilon}{\varepsilon-1}} - C \right\}$$

Despejando el consumo de cada bien encontramos

$$(7) \quad c_H = \left(\frac{p_H}{\lambda} \right)^{-\varepsilon} C$$

$$c_L = \left(\frac{p_L}{\lambda} \right)^{-\varepsilon} C$$

Reemplazando λ por el índice de precios llegamos a la expresión que corresponde a las demandas individuales para cada uno de los bienes industriales

$$(8) \quad c_H = \left(\frac{p_H}{P} \right)^{-\varepsilon} C \rightarrow \text{Demanda por el bien de alto impacto ambiental (H)}$$

$$c_L = \left(\frac{p_L}{P} \right)^{-\varepsilon} C \rightarrow \text{Demanda por el bien de bajo impacto ambiental (L)}$$

Demandas individuales

$$(9) \quad c_H = \left\{ \frac{p_H}{\left[\frac{1}{2} (p_H^{1-\varepsilon} + p_L^{1-\varepsilon}) \right]^{\frac{1}{1-\varepsilon}}} \right\}^{-\varepsilon} C$$

$$c_L = \left\{ \frac{p_L}{\left[\frac{1}{2}(p_H^{1-\varepsilon} + p_L^{1-\varepsilon}) \right]^{\frac{1}{1-\varepsilon}}} \right\}^{-\varepsilon} C$$

Donde ε muestra la elasticidad precio de la demanda y, además, $\frac{\varepsilon}{\varepsilon-1} = \frac{1}{\rho}$, siendo ρ es el grado de sustitución entre los bienes.

De modo que las demandas individuales van a depender de:

- La demanda agregada
- El precio del bien relativo al nivel general de precios
- La elasticidad precio de la demanda (ε)

II. Tecnología utilizada en la producción de los bienes industriales.

Como se mencionó anteriormente, hay dos tipos de bienes industriales y cada uno de ellos usará como factores de producción: petróleo (O), capital físico (K) y fuerza laboral (L).

Tipos de bienes industriales

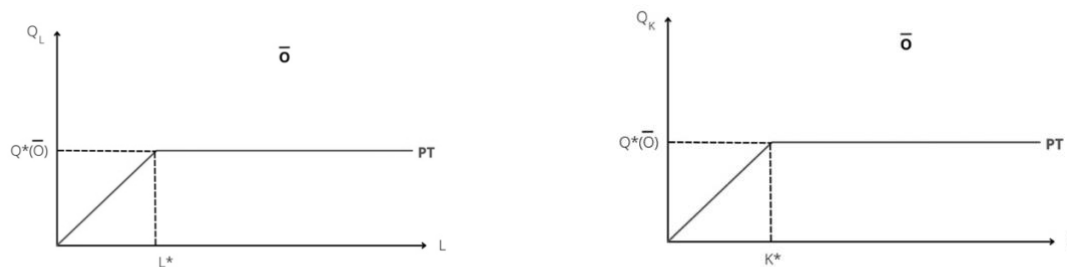
1. Bienes de alto impacto ambiental son aquellos intensivos en el uso de petróleo
2. Bienes de bajo impacto ambiental son aquellos que usan en menor proporción el petróleo durante el proceso productivo.

Los bienes industriales se producen mediante tecnología Leontieff, es decir, se asume que la elasticidad de sustitución entre los factores productivos es cero y, que los factores productivos son complementos perfectos.

Este supuesto ha sido presentado en trabajos anteriores como, “*Effect of Oil Tax in the Indian Economy*” por Hiranya Lahiri y Ambar Nath Ghosh y, en el estudio “*Factor substitution in Swiss manufacturing: empirical evidence using micro panel data*” por Sebastian M. Deininger, Lukas Mohler y Daniel Muller.

Bajo esta tecnología, la producción total está definida por el factor de producción que la limite. En este caso, tal y como se muestra en la gráfica 1, el petróleo (O) restringe la producción. L^* y K^* muestran el óptimo en el uso de los demás insumos para este caso. Aumentar alguno de los otros factores de producción sin aumentar el petróleo no aumentará la producción total (PT) y su producto marginal será cero luego de este punto.

Producción total de bienes industriales bajo tecnología Leontieff



Gráfica 1: Producción de bienes industriales bajo tecnología Leontieff

Fuente: Graficada por el autor

También puede pasar que la demanda este por debajo de este nivel, en este caso la cantidad producida podría no estar restringida por ninguno de los factores de producción.

- a. Demanda por cada uno de los insumos

El requerimiento laboral, estará definido por a_H y a_L

De modo que a_H denota la cantidad de mano de obra que se requiere para producir una unidad del bien industrial de alto impacto ambiental, y a_L indica la cantidad de mano de obra que se requiere para producir una unidad del bien industrial de bajo impacto ambiental.

Por lo tanto, el total de trabajadores que se demandan estará dado por la cantidad producida de cada bien final, multiplicado por el requerimiento laboral del bien industrial.

En síntesis, la demanda por trabajadores para la producción de cada bien industrial estará dada por: $L_H = a_H y_H$ $L_L = a_L y_L$

Esto se puede extender a los demás insumos, de modo que

$$\begin{aligned} k_H &= b_H y_H & k_L &= b_L y_L \\ O_H &= d_H y_H & O_L &= d_L y_L \end{aligned}$$

Dado que la productividad de cada factor es la inversa del requerimiento de cada factor,

$$\begin{aligned} a_H &= \frac{1}{\alpha_H}, & b_H &= \frac{1}{\beta_H}, & d_H &= \frac{1}{\gamma_H} \\ a_L &= \frac{1}{\alpha_L}, & b_L &= \frac{1}{\beta_L}, & d_L &= \frac{1}{\gamma_L} \end{aligned}$$

La demanda de cada factor de producción también se puede escribir en términos de la productividad de los factores $(\alpha_H, \beta_H, \gamma_H)$ y $(\alpha_L, \beta_L, \gamma_L)$, de modo que:

$$\begin{aligned} L_H &= \frac{y_H}{\alpha_H} & K_H &= \frac{y_H}{\beta_H} & O_H &= \frac{y_H}{\gamma_H} \\ L_L &= \frac{y_L}{\alpha_L} & K_L &= \frac{y_L}{\beta_L} & O_L &= \frac{y_L}{\gamma_L} \end{aligned}$$

Si despejamos y_H

$$y_H = L_H \alpha_H \qquad y_H = K_H \beta_H \qquad y_H = O_H \gamma_H$$

Si despejamos y_L

$$y_L = L_L \alpha_L \qquad y_L = K_L \beta_L \qquad y_L = O_L \gamma_L$$

Dado que los factores de producción son complementarios perfectos, el mínimo de ellos será el que define la producción, de modo que, podemos definir la función de producción para cada bien como:

(10)

$$y_H = \min\{K_H \beta_H, L_H \alpha_H, O_H \gamma_H\}$$

$$y_L = \min\{K_L \beta_L, L_L \alpha_L, O_L \gamma_L\}$$

Teniendo en cuenta que: w (precio de L), r (precio de K) y z (precio de O)

Los costos totales de la producción de cada bien están dados por la cantidad demandada de cada factor, multiplicado por el precio del factor de producción:

(11)

$$CT_H = \left(\frac{w}{\alpha_H} + \frac{r}{\beta_H} + \frac{z}{\gamma_H} \right) y_H$$

$$CT_L = \left(\frac{w}{\alpha_L} + \frac{r}{\beta_L} + \frac{z}{\gamma_L} \right) y_L$$

Inclusión de regulación ambiental

La forma como se aproxima la medida ambiental es mediante la creación de un impuesto al uso del petróleo (τ) de modo que los productores tendrán que añadir dicho costo dentro de su función de costos totales.

(12)

$$CT_H^A = \left(\frac{w^A}{\alpha_H^A} + \frac{r^A}{\beta_H^A} + \frac{z + \tau}{\gamma_H^A} \right) y_H^A$$

$$CT_L^A = \left(\frac{w^A}{\alpha_L^A} + \frac{r^A}{\beta_L^A} + \frac{z + \tau}{\gamma_L^A} \right) y_L^A$$

III. Efectos de la regulación ambiental sobre los precios relativos de los bienes industriales.

La incidencia del impuesto al uso del petróleo dependerá del grado de elasticidad de la oferta y de la demanda por petróleo. Se asume que los productores de bienes industriales están en la capacidad de ajustar su producción ante choques sobre los precios de los insumos, de modo que la demanda por petróleo será elástica tanto en el corto como en el largo plazo. No obstante, la elasticidad de la

oferta del petróleo si tendrá cambios en el tiempo, pasando de ser completamente inelástica en el corto plazo a tener un mayor grado de elasticidad en el largo plazo.

Caso I. Oferta de petróleo inelástica – efectos en el corto plazo

Teniendo en cuenta que cuando la oferta de un bien es completamente inelástica la incidencia de un impuesto recae por completo sobre los productores, en el corto plazo en donde se asume que la oferta de petróleo es completamente inelástica y la demanda es elástica, el impuesto sobre el petróleo no tendría incidencia sobre los productores de bienes industriales y, por tanto, el efecto directo de la regulación ambiental sobre los precios relativos de los bienes industriales sería nulo.

Caso II. Oferta de petróleo elástica – efectos en el largo plazo

Bajo este escenario la incidencia del impuesto sobre el petróleo será compartida entre productores y consumidores del insumo. Para entender los efectos que la regulación ambiental generaría sobre los precios relativos de los bienes industriales, es necesario modelar el proceso de maximización de beneficios que la empresa representativa lleva a cabo.

Los beneficios estarán dados por:

$$\pi = \text{Ingresos Totales reales} - \text{Costos Totales reales}$$

$$(13) \quad \pi_H = \frac{p_H}{P} y_H(p_H) - \left[\left(\frac{w}{\alpha_H} + \frac{r}{\beta_H} + \frac{z+\tau}{\gamma_H} \right) y_H(p_H) \right]$$

$$\pi_L = \frac{p_L}{P} y_L(p_L) - \left[\left(\frac{w}{\alpha_L} + \frac{r}{\beta_L} + \frac{z+\tau}{\gamma_L} \right) y_L(p_L) \right]$$

Sabemos que el Markup está dado por:

$$(14) \quad \mu_H = \frac{p_H}{PCM_{gH}}$$

$$\mu_L = \frac{p_L}{PCM_{gL}}$$

De modo que podemos describir los beneficios del bien industrial de alto impacto ambiental en términos del Markup

Para esto, multiplicamos y dividimos por el costo marginal elevado a la $(1 - \varepsilon)$

$$\pi_H = \left[\frac{p_H}{P} - \left(\frac{w}{\alpha_H} + \frac{r}{\beta_H} + \frac{z + \tau}{\gamma_H} \right) \right] \left(\frac{p_H}{P} \right)^{-\varepsilon} Y \left[\frac{\left(\frac{w}{\alpha_H} + \frac{r}{\beta_H} + \frac{z + \tau}{\gamma_H} \right)^{1-\varepsilon}}{\left(\frac{w}{\alpha_H} + \frac{r}{\beta_H} + \frac{z + \tau}{\gamma_H} \right)^{1-\varepsilon}} \right]$$

$$\pi_H = \left(\frac{w}{\alpha_H} + \frac{r}{\beta_H} + \frac{z + \tau}{\gamma_H} \right)^{1-\varepsilon} \mu_H^{1-\varepsilon} Y - \left(\frac{w}{\alpha_H} + \frac{r}{\beta_H} + \frac{z + \tau}{\gamma_H} \right)^{1-\varepsilon} \mu_H^{-\varepsilon} Y$$

Ahora podemos encontrar el markup que maximice los beneficios, derivando los beneficios respecto al Markup:

$$\frac{\partial \pi_H}{\partial \mu_H} = (1 - \varepsilon) \mu_H^{-\varepsilon} \left(\frac{w}{\alpha_H} + \frac{r}{\beta_H} + \frac{z + \tau}{\gamma_H} \right)^{1-\varepsilon} Y + \varepsilon \left(\frac{w}{\alpha_H} + \frac{r}{\beta_H} + \frac{z + \tau}{\gamma_H} \right)^{1-\varepsilon} \mu_H^{-\varepsilon-1} Y = 0$$

$$\mu_H^{-1} = \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon}$$

Lo mismo ocurre con el bien industrial de bajo impacto ambiental, de modo que:

$$(15) \quad \mu_H^* = \mu_L^* = \frac{\varepsilon}{\varepsilon-1} \rightarrow \text{Markup que maximiza beneficios}$$

De modo que el precio relativo que maximiza los beneficios estará dado por:

$$(16) \quad \frac{p_H}{P} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon-1} \left(\frac{w}{\alpha_H} + \frac{r}{\beta_H} + \frac{z+\tau}{\gamma_H} \right) \quad y \quad \frac{p_L}{P} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon-1} \left(\frac{w}{\alpha_L} + \frac{r}{\beta_L} + \frac{z+\tau}{\gamma_L} \right)$$

Y el efecto del impuesto sobre los precios relativos de los bienes industriales, será:

$$(17) \quad \frac{\partial p_H/P}{\partial \tau} = \frac{1}{\gamma_H} \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon-1} \right) > 0 \quad \text{y} \quad \frac{\partial p_L/P}{\partial \tau} = \frac{1}{\gamma_L} \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon-1} \right) > 0$$

La relación entre el impuesto y el precio relativo de los bienes será positiva dado que:

- $\rho =$ grado de sustitución de los bienes y los bienes son sustitutos imperfectos

$$\frac{1}{\rho} > 1$$

Teniendo en cuenta que $\frac{1}{\rho} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon-1} > 0$, pues $\varepsilon > 1$ dado que la demanda es elástica

- $\frac{1}{\gamma_H} > 0$ porque $\gamma_H > 0$
- $\frac{1}{\gamma_L} > 0$ porque $\gamma_L > 0$

La magnitud del efecto dependerá de:

1. Elasticidad precio de la demanda (ε)

$\downarrow \varepsilon \uparrow$ efecto del impuesto

Si la demanda es menos elástica las empresas tienen mayor poder de fijación de precios (\uparrow Markup). En este caso para los consumidores es más difícil sustituir el bien, de modo que, ante un cambio porcentual del precio del bien, el cambio porcentual de la cantidad demandada no será muy grande.

2. La intensidad del uso del petróleo en la producción de los bienes (γ_i)

Precisamente lo que diferencia los bienes es la intensidad del uso del petróleo en sus procesos productivos. Dado que un bien intensivo en petróleo es aquel que utiliza relativamente más petróleo que trabajo o capital para producir el bien, podemos definir las siguientes relaciones entre los requerimientos relativos de los factores para cada tipo de bien industrial

$$\frac{d_H}{a_H} > \frac{d_L}{a_L} \quad y \quad \frac{d_H}{b_H} > \frac{d_L}{b_L}$$

Y teniendo en cuenta que el requerimiento de cada factor es equivalente a la inversa de la productividad del factor, la anterior relación podría ser rescrita como:

$$\frac{\alpha_H}{\gamma_H} > \frac{\alpha_L}{\gamma_L} \quad y \quad \frac{\beta_H}{\gamma_H} > \frac{\beta_L}{\gamma_L}$$

Dado el supuesto, $\alpha_H = \alpha_L = \alpha$ y $\beta_H = \beta_L = \beta$

Es decir, que la productividad del capital físico y de los trabajadores es igual para ambos bienes

Podemos concluir que, $\gamma_L > \gamma_H$

Lo cual implica que los bienes industriales de bajo impacto ambiental (L) cuentan con una productividad del petróleo mayor, por lo cual requieren usar en menor cuantía este insumo para producir una unidad de bien final. Por el contrario, los bienes industriales de alto impacto ambiental (H), tienen una productividad del petróleo menor, por lo que requieren mayores cantidades de petróleo para producir una unidad del bien final.

Lo anterior explica porque el cambio del precio relativo ante el impuesto al uso del petróleo será mayor para los bienes industriales de alto impacto ambiental.

$$(18) \quad \frac{\partial p_H/P}{\partial \tau} > \frac{\partial p_L/P}{\partial \tau}$$

Por tanto, el aumento en el precio de los bienes industriales de alto impacto ambiental será mayor frente al aumento en el precio de los bienes industriales de bajo impacto ambiental.

$$(19) \quad \partial p_H > \partial p_L$$

Ante el cambio en los precios relativos, la demanda de los bienes industriales también cambiará, de modo que el aumento en los precios relativos de los bienes se verá reflejado en una caída sobre la demanda de los bienes industriales tanto de alto como de bajo impacto ambiental.

$$\uparrow \left(\frac{p_H}{P}\right)^{-\varepsilon} Y = \downarrow y_H$$

$$\uparrow p_H/P \text{ lleva a } \downarrow y_H$$

$$\uparrow \left(\frac{p_L}{P}\right)^{-\varepsilon} Y = \downarrow y_L$$

$$\uparrow p_L/P \text{ lleva a } \downarrow y_L$$

IV. Efectos de la regulación ambiental unilateral sobre los precios del petróleo

Como se mencionó al inicio del modelo, el país A no alcanza a suplir toda la demanda de petróleo de su país de modo que importa del país B.

Sea $\theta \text{Demanda}^A \rightarrow$ la parte de la demanda que A importa de B

De modo que, la oferta del país A será equivalente a:

$$\text{Oferta}^A = \text{Demanda}^A - \theta \text{Demanda}^A$$

En el caso del país B

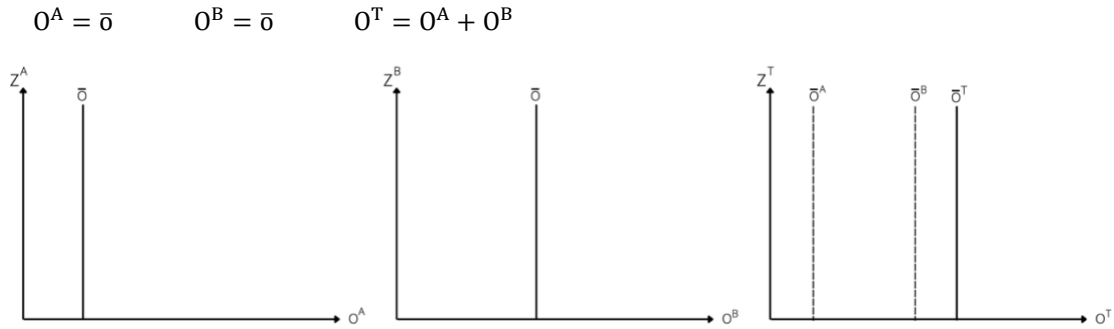
$$\text{Oferta}^B = \theta \text{Demanda}^A + \text{Demanda}^B$$

Caso I. Oferta de petróleo inelástica – efectos en el corto plazo

Se asume que, en el corto plazo, la oferta de petróleo de ambos países será completamente inelástica, pues no es posible ajustar los factores de producción ante choques sobre los precios o

las cantidades demandadas en el corto plazo. Adicionalmente, la oferta total se define como la suma de las ofertas de ambos países; tal como se muestra en la gráfica 2.

Oferta total de petróleo

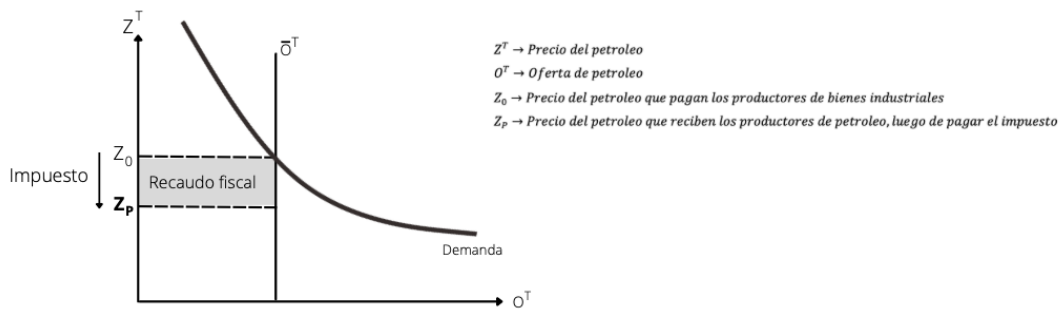


Gráfica 2: Oferta total de petróleo.

Fuente: Graficada por el autor.

En este caso, la carga tributaria que genera el impuesto sobre el uso de petróleo recae por completo sobre los productores. Y tal como lo muestra la gráfica 3, esto lleva a un precio menor para los productores de petróleo.

Demanda y Oferta Total de Petróleo ante una imposición tributaria al uso del petróleo



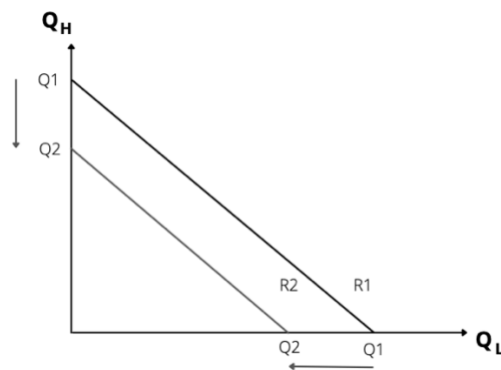
Gráfica 3. Demanda y Oferta Total de Petróleo ante una imposición tributaria al uso del petróleo.

Fuente: Graficada por el autor.

Dado que el precio para los consumidores no cambia, para los productores de bienes industriales de alto y bajo impacto ambiental los costos de producción no se verían afectados por el impuesto y, por ende, no habría un efecto directo sobre sus precios a causa de la regulación ambiental.

No obstante, puesto que parte del ingreso de los hogares depende de los dividendos por extracción de petróleo, y el ingreso de quienes extraen este insumo disminuye, los ingresos de los hogares también se verían afectados. Dicha disminución en el ingreso se vería reflejado en una contracción de la restricción presupuestaria de los hogares de ambos países, de modo consumirían una menor cantidad de ambos bienes finales. La grafica 4 ilustra dicha situación.

Cambios en la restricción presupuestaria ante la regulación ambiental



Grafica 4. Cambios en la restricción presupuestaria ante la regulación ambiental.

Fuente: Graficada por el autor.

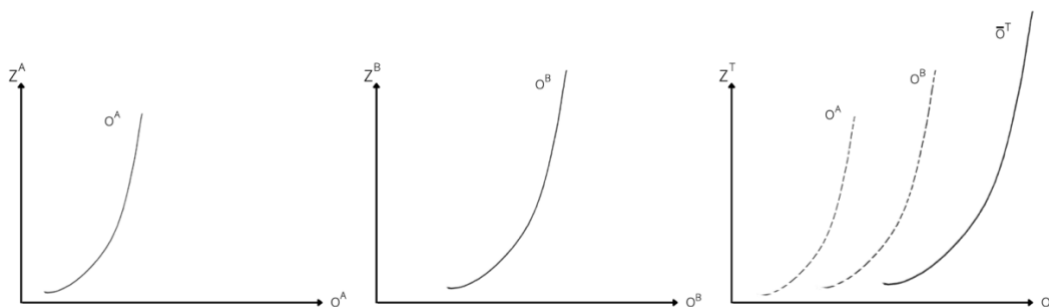
En el corto plazo, el precio del petróleo que reciben los productores de petróleo en ambos países disminuye, los beneficios generados en la industria del petróleo en este país ahora son menores y, por tanto, los hogares experimentan una disminución sobre su ingreso pues reciben menos dividendos por la extracción de petróleo. El precio del petróleo no cambia para quienes lo consumen, sin embargo, dada la disminución en el ingreso de los hogares, cae la demanda tanto por bienes industriales de alto como de bajo impacto ambiental y dicha disminución sobre la demanda será proporcional para ambos bienes. La disminución en la demanda de bienes industriales a su vez lleva a una caída en sus precios.

Finalmente, en el corto plazo la regulación ambiental unilateral llevará a una disminución del ingreso para el país A como consecuencia de la caída en los ingresos de quienes extraen petróleo y de la caída en los precios de los bienes industriales de alto y bajo impacto ambiental. Del mismo modo, habrá una disminución en el ingreso del país B, pues ahora recibe menos ingresos por la extracción de petróleo. No obstante, el país B se podrá beneficiar de la disminución en los precios de los bienes que importa (bienes industriales de alto y bajo impacto ambiental).

Caso II. Oferta de petróleo elástica – efectos en el largo plazo

Se asume que, en el largo plazo, la demanda de petróleo será elástica y la oferta de petróleo de ambos países también será elástica puesto que, en el largo plazo es posible ajustar los factores de producción antes choques sobre los precios o la demanda por petróleo. Eventualmente la oferta volverá a ser completamente inelástica por tratarse de un bien finito. Adicionalmente, la oferta total se define como la suma de las ofertas de ambos países; tal como se muestra en la gráfica 5.

Oferta de petróleo en el largo plazo



Gráfica 5: Oferta de petróleo en el largo plazo.

Fuente: Graficada por el autor.

Dado que en el largo plazo se asume una oferta por petróleo elástica, tanto productores como consumidores de petróleo (productores de bienes industriales) tendrán que pagar una proporción del impuesto. Esto implica, que el precio que deben pagar los productores de bienes industriales por el petróleo será mayor, y como se expresó en la ecuación 18 de la sección anterior, este escenario resulta en un aumento sobre los precios relativos de los bienes industriales tanto de alto

como de bajo impacto ambiental; siendo el efecto mayor para los bienes industriales de alto impacto ambiental.

$$\frac{\partial p_H/P}{\partial \tau} > \frac{\partial p_L/P}{\partial \tau}$$

Dicho aumento en los precios se verá reflejado sobre una disminución en la demanda de estos bienes. No obstante, puesto que el precio de los bienes industriales de alto impacto ambiental aumentará en mayor proporción que el aumento en los precios de los bienes industriales de bajo impacto ambiental, la disminución en la demanda de los bienes industriales de alto impacto ambiental será mayor en comparación con la disminución de la demanda por bienes de bajo impacto ambiental.

Sabemos que la restricción presupuestaria estará dada por:

$$wL + rK + \eta O = p_H q_H + p_L q_L$$

En donde podemos simplificar $wL + rK + \eta O = I$

De modo que, $I = p_H q_H + p_L q_L$

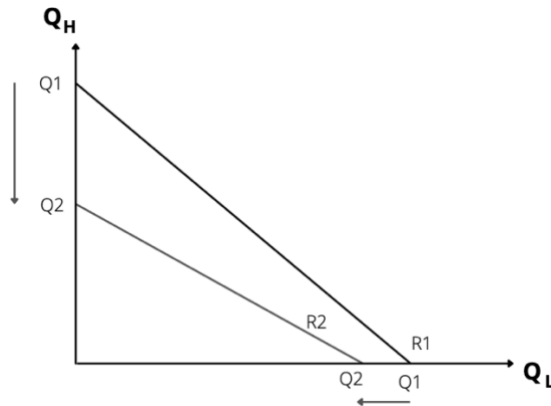
Podemos expresar la restricción presupuestaria como:

$$(20) \quad q_H = \frac{I}{p_H} - \frac{p_L}{p_H} q_L$$

donde, $\frac{p_L}{p_H}$ determina la pendiente de la restricción presupuestaria.

Por ende, dado que comparativamente, el aumento de los precios de los bienes de alto impacto ambiental (H) es mayor, frente al aumento en el precio de los bienes de bajo impacto ambiental (L), la pendiente de la restricción presupuestaria disminuye, tal como se muestra en la curva R2 de la gráfica 6.

Cambios en la restricción presupuestaria ante cambios en los precios de los bienes industriales



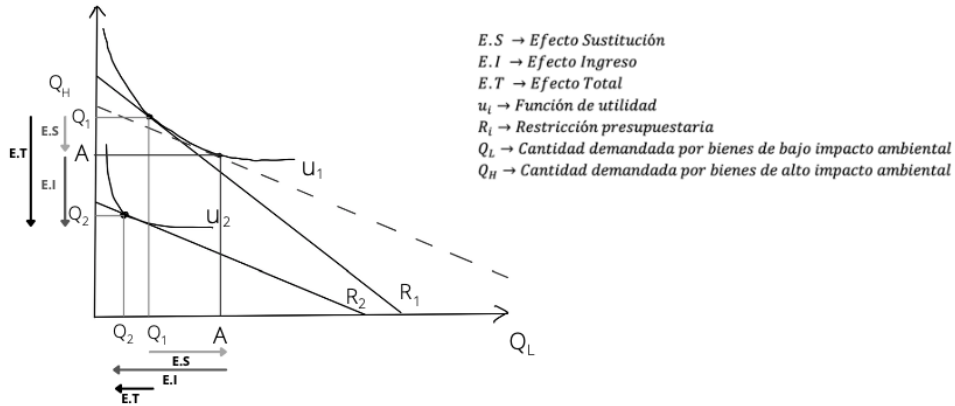
Grafica 6. Cambios en la restricción presupuestaria ante cambios en los precios de los bienes industriales.

Fuente: Graficada por el autor.

Así mismo, teniendo en cuenta que $\frac{I}{p_H}$ determina el corte en Q_H y $\frac{I}{p_L}$ el corte en Q_L , es posible evidenciar que el aumento en los precios lleva a una reducción proporcional en las cantidades demandadas. Y dado que, el aumento en el precio del bien de alto impacto ambiental es mayor, la caída en su demanda también es mayor en comparación con la caída en la demanda del bien de bajo impacto ambiental, tal como lo muestra la gráfica 6.

No obstante, es necesario analizar tanto el efecto ingreso como el efecto sustitución para poder entender el efecto total que generan los cambios en los precios de los bienes sobre la demanda por cada uno de ellos. Tal como se muestra en la gráfica 7, el efecto total de los cambios en los precios de los bienes resulta en una disminución de la demanda de ambos bienes industriales. No obstante, mientras que, para los bienes de alto impacto ambiental, tanto el efecto ingreso como el efecto sustitución tienen un efecto negativo y llevan a una disminución de la demanda, para los bienes de bajo impacto ambiental, el efecto sustitución tiene un efecto positivo sobre la demanda. Sin embargo, dado que el efecto sustitución es compensado por el efecto ingreso, el efecto total también resulta en una disminución de la demanda de los bienes industriales de bajo impacto ambiental. Cabe resaltar que la dirección y magnitud tanto del efecto ingreso como sustitución se debe a que ambos son bienes normales y además son sustitutos imperfectos entre sí.

Cambios en la demanda por bienes industriales (Análisis de efecto sustitución e ingreso)



Gráfica 7. Cambios en la demanda por bienes industriales, análisis de efecto sustitución e ingreso.

Fuente: Graficada por el autor.

Finalmente, teniendo en cuenta que la demanda por petróleo está dada por:

$$O_H = \frac{y_H}{\gamma_H} \quad \text{y} \quad O_L = \frac{y_L}{\gamma_L}$$

Una disminución en la demanda de los bienes industriales a su vez lleva a una disminución en la demanda por petróleo. Específicamente, la disminución en la demanda por bienes industriales de alto impacto ambiental lleva a una disminución en la cantidad de petróleo que es demandada por los productores de bienes de alto impacto ambiental. Lo mismo ocurre para los bienes industriales de bajo impacto ambiental, de modo que se da una disminución en la demanda total por petróleo.

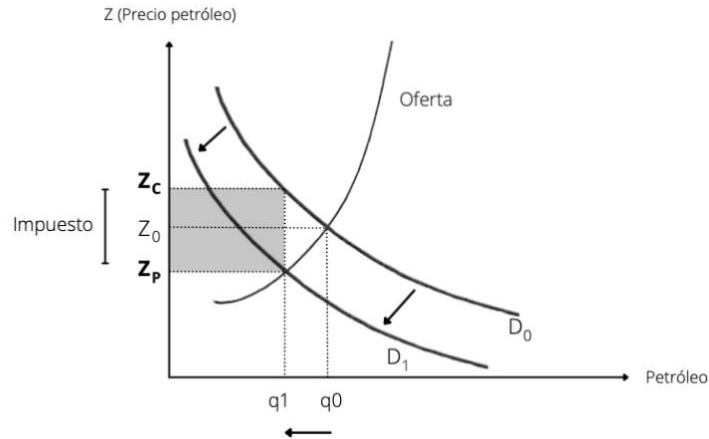
↓ y_H lleva a su vez a ↓ O_H

↓ y_L lleva a su vez a ↓ O_L ,

Finalmente ↓ O_T

La gráfica 8 muestra que cuando la oferta de petróleo es elástica el impuesto afectara tanto a productores como a consumidores de petróleo, pues para los consumidores el precio ahora es mayor y los productores ahora reciben menos ingresos, siendo el área sombreada el recaudo fiscal.

Efectos de la regulación ambiental sobre el precio del petróleo a largo plazo



Grafica 8. Efectos de la regulación ambiental sobre el precio del petróleo a largo plazo.

Fuente: Graficada por el autor.

En el largo plazo, el precio del petróleo aumenta para quienes lo consumen, lo cual significa un mayor costo de producción para los bienes industriales, en especial para aquellos de alto impacto ambiental, pues son bienes intensivos en el uso de petróleo. Tal como se mostró con anterioridad, el aumento en los costos de producción se traduce en un aumento de los precios de estos bienes y como consecuencia su demanda disminuye. Por otra parte, el precio que reciben los productores de petróleo en ambos países disminuye y los ingresos que reciben los hogares por dividendos de la extracción de petróleo también disminuyen. Así mismo, para quienes extraen petróleo habrá una disminución en la demanda, pues, en el largo plazo la caída en la demanda por bienes industriales se traduce en una menor producción de estos bienes de modo que el petróleo se consume en menor cuantía.

La regulación ambiental a largo plazo afecta en mayor medida al país B, pues este país ahora enfrenta términos de intercambio menos favorables, el precio que recibe por el bien que exporta (petróleo) disminuye y el precio que debe pagar por los bienes que importa (bienes industriales de alto y bajo impacto ambiental) aumenta. Por el contrario, en el largo plazo, el país A se beneficia de los cambios que la regulación ambiental genera sobre los términos de intercambio. El país A ahora paga un menor precio por el bien que importa y vende a un precio mayor los bienes que exporta.

V. Resultados del modelo teórico y discusión

Múltiples trabajos han mostrado que la regulación ambiental tiene la capacidad de aumentar la competitividad a nivel internacional de países que se especializan en industrias no contaminantes, así mismo, se ha encontrado que la adopción de políticas ambientales puede influir sobre los términos de intercambio, y dichas fluctuaciones tienen repercusiones significativas sobre los ingresos de países en vía de desarrollo. En este trabajo se desarrolló un modelo teórico donde el petróleo es contemplado no solo como un bien final que es comercializado a nivel internacional, sino que a su vez se considera un insumo en la producción de bienes industriales. Dicha diferenciación en el planteamiento del modelo en comparación a los modelos teóricos desarrollados en trabajos anteriores permite analizar no solo los efectos de un impuesto al uso del petróleo sobre los términos de intercambio de una economía en desarrollo, sino a su vez analizar el mecanismo de transmisión de la política ambiental sobre el ámbito comercial, y en especial analizar los efectos intra-industria para los bienes industriales, a raíz de cambios generados en la competitividad y en las preferencias de consumo.

Los resultados muestran que tanto en el corto como en el largo plazo la regulación ambiental unilateral tiene un efecto desfavorable sobre los ingresos de la economía en vía de desarrollo, pues esta enfrentara una disminución en el precio del bien que exporta (petróleo). Por otra parte, se encontró que en el corto plazo el precio de los bienes que importa el país en vía de desarrollo (bienes industriales de alto y bajo impacto ambiental) disminuye, contrario al efecto evidenciado en el largo plazo, donde el precio de los bienes industriales aumenta.

Ahora bien, hay varios factores que inciden sobre los resultados encontrados. En primer lugar, dicha diferenciación de los resultados acorde al periodo temporal se debe a los cambios que se dan en la elasticidad de la oferta del petróleo. En el corto plazo con una demanda por petróleo elástica y una oferta de petróleo completamente inelástica, la implementación de la regulación ambiental no tiene afectaciones sobre el precio del petróleo para sus consumidores y por ende tampoco genera efectos directos sobre los costos de los bienes industriales. Por el contrario, en el largo plazo el aumento en la elasticidad de la oferta de petróleo permite a los productores trasladar parte de la carga tributaria a los consumidores. La incidencia compartida del impuesto entre productores y

consumidores lleva a un aumento en el precio del petróleo para los productores de bienes industriales, de modo que, al aumentar el costo de producción de los bienes industriales, aumenta el precio de estos bienes a nivel internacional, y como consecuencia, la demanda por bienes industriales disminuye, disminuye el volumen comercializado de petróleo y hay una caída en su precio a nivel internacional.

Por otra parte, la existencia de dos tipos de bienes industriales que compiten bajo un mercado imperfecto, donde hay un grado de sustitución positivo entre los bienes, y donde además los bienes se diferencian en la intensidad del uso del bien contaminante que es sujeto de la regulación ambiental, permite ver cambios en las preferencias de consumo y muestra que a nivel intra-industrial la regulación ambiental puede generar cambios sobre la competitividad de los bienes. Así mismo, la estructura productiva de los países es determinante sobre los resultados, puesto que el país que adopta la regulación ambiental se beneficia en el largo plazo, siempre y cuando la industria que es gravada no sea la industria donde el país goza de mayor competitividad.

Finalmente, si bien dentro del modelo se asume que no existe la inversión ni el gasto público, y por temas de simplificación no se analiza el destino que se le da al recaudo tributario generado a partir de la regulación ambiental, es interesante pensar que la manera en que sea destinado dicho ingreso fiscal podría tener implicaciones adicionales tanto a nivel comercial como ambiental. Por ejemplo, si el ingreso generado por el impuesto fuese retornado a los hogares, veríamos que habría una expansión de la restricción presupuestaria siempre que se implemente la regulación ambiental. Recordemos además que parte del ingreso de los hogares se deriva de los dividendos generados por la extracción de petróleo, los cuales se ven afectados ante la adopción del impuesto verde, de modo que, bajo dicho esquema, se podrían mitigar los efectos adversos que genera el impuesto al petróleo sobre los ingresos de los hogares en la economía desarrollada. No obstante, el recaudo también podría ser dirigido a nivel local, en forma de subsidios a la manufactura de bienes con bajo impacto ambiental, potenciando así su ventaja competitiva frente a los sectores altamente contaminantes, o bien, dicho recaudo podría ser usado directamente por el gobierno para ejecutar planes de mitigación y adaptación al cambio climático o para apoyar la transición a energías limpias.

Ahora bien, dichos esquemas locales tienen también la capacidad de generar impactos sobre la distribución del ingreso y la competitividad a nivel internacional. Por un lado, si el recaudo es retornado a los hogares, veríamos que la afectación que genera la regulación ambiental sobre el ingreso de los hogares sería menor en el país desarrollado, de modo que la brecha de ingreso de los hogares entre ambas economías se haría más evidente. Por otro lado, si el recaudo se usa para promover y mejorar la competitividad de las industrias limpias, de modo que tengan menores costos de producción o mayor eficiencia en su producción, los precios de los bienes industriales de bajo impacto ambiental podrían disminuir y el país en vía de desarrollo podría llegar a beneficiarse. No obstante, así mismo, en caso de que el país en vía de desarrollo quisiera diversificar sus actividades productivas hacia industrias limpias, tendría que enfrentarse a una industria robustecida, contra la cual será difícil competir. Es por ello, que teniendo en cuenta las afectaciones en términos de la distribución del ingreso y competitividad que puede generar la regulación ambiental unilateral, es relevante considerar a su vez que dicho ingreso fiscal podría ser destinado a nivel internacional para apoyar la transición energética en países en vía de desarrollo y así, mitigar los retos que el cambio climático y la búsqueda de un desarrollo económico sostenible generan en ciertas regiones del mundo.

VI. Conclusiones

En resumen, los resultados muestran que aquellos países que cuentan con una ventaja comparativa en la producción de bienes de bajo impacto ambiental se benefician de la política ambiental y podrían ganar aún más competitividad en el largo plazo. Por el contrario, los países que dependen de la extracción del bien que es regulado, en el largo plazo verán una disminución significativa sobre sus ingresos como resultado de los efectos desfavorables que generan los nuevos términos de intercambio para ellos. Estos resultados a su vez concuerdan con los hallazgos previos de Scholtz (1998), que indican que, si el sector en el cual se especializa el país no es intensivo en polución, lejos de perder competitividad, este se verá beneficiado ante la regulación ambiental.

Lo anterior muestra que en el largo plazo, las políticas ambientales unilaterales pueden tener un efecto colateral sobre países en vía de desarrollo, donde además, dependiendo de la manera como

destinen los recursos generados por la implementación de impuestos verdes, dichas afectaciones podrían llegar a ser exacerbadas. Es allí donde políticas de compensación adquieren trascendencia dentro de la discusión. Un tema que ha adquirido mayor relevancia en los últimos años y que en la actualidad se ha materializado en iniciativas internacionales como el fondo de “perdidas y daños”, establecido en el marco de COP27, la movilización de más de 20 billones de dólares a Indonesia, la integración de iniciativas que buscan apoyar la transición energética y la resiliencia ante los efectos del cambio climático en países en vía de desarrollo en dentro del acta legislativa de reducción de inflación del gobierno Biden. Todos con él fin de generar una compensación por los daños generados como consecuencia del cambio climático y apoyar la financiación de procesos de transición energética en economías emergentes. (Sender, H., 2022).

El modelo muestra que la cooperación a nivel internacional en respuesta a la crisis ambiental no solo es relevante desde el cuidado del medio ambiente, sino que a su vez es relevante para el desarrollo económico de los países. Especialmente cuando los choques sobre los términos de intercambio que deben enfrentar los países en desarrollo son negativos, y cuyo ingreso depende en mayor medida de la extracción de bienes altamente contaminantes y regulados. Si bien, el modelo desarrollado tiene limitaciones para analizar el uso idóneo de los recursos generados a partir de la implementación del impuesto verde, así como para analizar la mejor respuesta por parte de la economía afectada, ampliaciones del modelo aquí presentado, en donde se analicen distintos esquemas de destinación de los fondos recaudados, así como distintos escenarios de regulación ambiental multilateral heterogénea permitirán tener un mejor entendimiento de los resultados que distintas respuestas en política ambiental podrían tener sobre los términos de intercambio, la distribución del ingreso y la competitividad a nivel internacional. Específicamente, ampliaciones al modelo de este tipo podrían ayudar a esclarecer si el mejor camino es la creación de políticas ambientales completamente homogéneas a nivel mundial, o si por el contrario la diversificación de políticas diferenciales, guiadas a las especificaciones de cada economía podrían traer mayores beneficios tanto para el desempeño económico como para el cuidado del medio ambiente, y de qué manera el destino de dichos recaudos fiscales podrían ser usados para potencializar un desarrollo sostenible y equitativo a nivel internacional.

VII. Referencias

Antweiler, W., Copeland, B., & Taylor, M. (2001). *Is free trade good for the environment?* Madison.

Atlas of Economic Complexity. (2022). Harvard Growth Lab's research and data visualization tool used to understand the economic dynamics and new growth opportunities for every country worldwide. *Harvard University*.

Böhringer, C., Lange, A., & Rutherford, T. (2013). Optimal emission pricing in the presence of international spillovers: Decomposing leakage and terms of trade motives. *Elsevier Science*.

Brander, J. A. (1986). *Rationales for Strategic Trade and Industrial Policy*, In *Strategic Trade Policy and the New International Economics*, editado por Krugman, P.R., 1986 The MIT Press, USA, Maple-Vail, Inc. 1992. pp. 13-15.

Cherniwchan, J., Copeland, B., & Taylor, M. (2017). Trade and the Environment: New Methods, Measurements, and Results. *Annual Review Of Economics*, 9(1), 59-85. doi: 10.1146/annurev-economics-063016-103756

Cumberland, John H., 1981, Efficiency and equity in interregional environmental management, *Review of Regional Studies*, No. 2, 1-9.

Departamento Nacional de Planeación. (2022). Documento CONPES 4075, Política de Transición Energética. *Consejo Nacional de Política Económica y Social, Republica de Colombia*.

Department of Commerce, United States of America. (2022). Energy Industry, The United States is a global leader in production, supply, and consumption of energy. *Select USA*.

DePietro, A. (2021). 2021 U.S. GDP by industry. *Forbes*.

Hernández, G. (2013). Colombia: Términos de intercambio y fluctuaciones de la producción.

Hernández, G., & Prieto, M. A. (2020). Terms of trade shocks and taxation in developing countries. *Cuadernos de economía*. 39(81), 613-634.

Krugman, P., Melitz, M., & Obstfeld, M. (2012). *International economics*(9th ed., pp. 155-191). Boston, Mass.: Pearson Addison-Wesley.

Martin, C., Rosenblum, C., & Wason, E. (2021). The China-US Climate Relationship, Debate over the World's Emissions Trajectory, and More.

Mas Colombia. (2022). Impuestos directos e indirectos: ¿Que son y en que se diferencian? *Mas Colombia*.

MCC Policy Brief No. 7. (2020).

Melitz, M. (2003). The Impact of Trade on Intra-Industry Reallocations and Aggregate Industry Productivity. *Econometrica*, 71(6), 1695-1725.

Mendoza, E. (1995). The terms of trade, the real exchange rate, and economic fluctuations. *International Economic review*. Vol. 36, No. 1, 101-137.

MinAmbiente. (2022). Preguntas Frecuentes del Impuesto Nacional al Carbono y el Tratamiento Tributario de No Causación por Carbononeutralidad. *Ministerio de Ambiente de la República de Colombia*.

Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (2022). Gobierno Petro anuncia cuáles serán los primeros pasos para la construcción de la hoja de ruta para la transición energética justa en Colombia. *Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible*.

Ministerio de relaciones exteriores. (2022). Presidente Petro asegura en COP 27 de Egipto que para enfrentar la crisis climática “la solución es un mundo sin petróleo y sin carbón”. *Ministerio de relaciones exteriores*.

- Morales, D. (2022). Los nuevos pasos para la hoja de ruta de la transición energética. *Portafolio*.
- Muradian, R., Martinez-Alier, J. (2000). Trade and the environment: from a “Southern” perspective. *Elsevier Science*.
- Newell, R. (2021). Federal Climate Policy 101: Reducing Emissions.
- Oviedo, A., Sierra, L. (2019). Importancia de los términos de intercambio en la economía colombiana. *CEPAL*. No. 128, 125-154.
- Piermartini, R. (2004). The Role of Export Taxes in the Field of Primary Commodities. *World Trade Organization*.
- Portafolio. (2022). Gobierno estudia firmar nuevos contratos de exploración petrolera. *Portafolio*.
- Portal Único del Estado Colombiano, GOV.CO. (2021). Ley 2099 de 2021. *Función Pública*.
- Salas, M., et al. (2022). Tax Alert. Reforma Tributaria 2022. *EY*. Tomado el 23 de noviembre
- Sandri, P. (2021). Los petroestados perderán unos 7,5 billones en ingresos en el 2040. *La Vanguardia*.
- Scholz, C. (1998). Environmental regulation and its impact on welfare and international competitiveness in a Heckscher-Ohlin framework. *The Kiel Institute Of World Economics*.
- Semana. (2022). MinHacienda contesta la pregunta clave sobre el futuro del petróleo y habla de decisiones para los próximos 12 años. *Semana*.
- Sender, H. (2022). Joe Biden’s \$369bn climate push ripples through developing countries. *Financial Times*.
- Solleder, O. (2013). Trade effects on export taxes. *Graduate Institute of International and Development Studies*. Working Paper No. 08/2013.

The White House. (2022). Fact Sheet: President Biden Announces New Initiatives at COP27 to strengthen U.S Leadership in tackling Climate Change. *The White House*.

The White House. (2021). Take climate action in your community. *The White House*.

Weaver, C. (2021). US Democrats fear ill wind from Biden's climate policies in oil states.

Welch, C. (2020). El deshielo del suelo del Ártico libera una gran cantidad de gases peligrosos.

VIII. Apéndice

Proceso de minimización del gasto de los hogares

$$\mathcal{L} = \frac{1}{2}(p_H c_H + p_L c_L) - \lambda \left\{ \left(\frac{1}{2} \left(c_H^{\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon}} + c_L^{\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon}} \right) \right)^{\frac{\varepsilon}{\varepsilon-1}} - C \right\}$$

Las condiciones de primer orden serán

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial c_H} = 0 = \frac{1}{2} p_H - \lambda \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon-1} \right) \left(\frac{1}{2} \left(\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon} \right) c_H^{-1/\varepsilon} \right) \left(\left(\frac{1}{2} \left(c_H^{\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon}} + c_L^{\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon}} \right) \right)^{\frac{\varepsilon}{\varepsilon-1}-1} \right) = 0$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial c_L} = 0 = \frac{1}{2} p_L - \lambda \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon-1} \right) \left(\frac{1}{2} \left(\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon} \right) c_L^{-1/\varepsilon} \right) \left(\left(\frac{1}{2} \left(c_H^{\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon}} + c_L^{\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon}} \right) \right)^{\frac{\varepsilon}{\varepsilon-1}-1} \right) = 0$$

Y dado el agregador de consumo, las condiciones de primer orden se pueden simplificar a las expresiones

$$\frac{1}{2} p_H - \lambda \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon-1} \right) \left(\frac{1}{2} \left(\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon} \right) c_H^{-1/\varepsilon} \right) C^{1/\varepsilon} = 0$$

$$\frac{1}{2} p_L - \lambda \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon-1} \right) \left(\frac{1}{2} \left(\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon} \right) c_L^{-1/\varepsilon} \right) C^{1/\varepsilon} = 0$$

Equivalente a

$$p_H = \lambda c_H^{-1/\varepsilon} C^{1/\varepsilon}$$

$$p_L = \lambda c_L^{-1/\varepsilon} C^{1/\varepsilon}$$

Despejando el consumo de cada bien encontramos

$$(I.) \quad c_H = \left(\frac{p_H}{\lambda}\right)^{-\varepsilon} C \quad c_L = \left(\frac{p_L}{\lambda}\right)^{-\varepsilon} C$$

Proceso para hallar las demandas individuales de los bienes industriales

A partir del consumo de cada bien podemos encontrar el índice de precios usando el agregador de consumo Dixit-Stiglitz

$$C^{\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon}} = \frac{1}{2} \left(c_H^{\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon}} + c_L^{\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon}} \right)$$

La anterior expresión se puede reescribir como

$$C^{\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon}} = \frac{1}{2} \left(\left(\frac{p_H}{\lambda}\right)^{1-\varepsilon} C^{\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon}} + \left(\frac{p_L}{\lambda}\right)^{1-\varepsilon} C^{\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon}} \right)$$

Despejando λ podemos encontrar el índice de precios

$$\lambda = P = \left(\frac{1}{2} (p_H^{1-\varepsilon} + p_L^{1-\varepsilon}) \right)^{\frac{1}{1-\varepsilon}} \rightarrow \text{Índice de precios}$$

Reemplazando λ por el índice de precios en (I.) llegamos a la expresión que corresponde a las demandas individuales para cada uno de los bienes industriales

$$c_H = \left(\frac{p_H}{P}\right)^{-\varepsilon} C \rightarrow \text{Demanda por el bien de alto impacto ambiental (H)}$$

$$c_L = \left(\frac{p_L}{P}\right)^{-\varepsilon} C \rightarrow \text{Demanda por el bien de bajo impacto ambiental (L)}$$

Demandas individuales

$$(II.) \quad c_H = \left\{ \frac{p_H}{\left[\frac{1}{2}(p_H^{1-\varepsilon} + p_L^{1-\varepsilon})\right]^{\frac{1}{1-\varepsilon}}} \right\}^{-\varepsilon} C \quad c_L = \left\{ \frac{p_L}{\left[\frac{1}{2}(p_H^{1-\varepsilon} + p_L^{1-\varepsilon})\right]^{\frac{1}{1-\varepsilon}}} \right\}^{-\varepsilon} C$$

Proceso de maximización de beneficios

Los beneficios estarán dados por:

$$\pi = \text{Ingresos Totales reales} - \text{Costos Totales reales}$$

$$\pi_H = \frac{p_H}{P} y_H(p_H) - \left[\left(\frac{w}{\alpha_H} + \frac{r}{\beta_H} + \frac{z + \tau}{\gamma_H} \right) y_H(p_H) \right]$$

$$\pi_L = \frac{p_L}{P} y_L(p_L) - \left[\left(\frac{w}{\alpha_L} + \frac{r}{\beta_L} + \frac{z + \tau}{\gamma_L} \right) y_L(p_L) \right]$$

Teniendo en cuenta que los mercados se vacían, podemos definir

$$c_H = y_H = \left(\frac{p_H}{P}\right)^{-\varepsilon} Y$$

$$c_L = y_L = \left(\frac{p_L}{P}\right)^{-\varepsilon} Y$$

De modo que los beneficios se podrían rescribir como:

$$\pi_H = \left[\frac{p_H}{P} - \left(\frac{w}{\alpha_H} + \frac{r}{\beta_H} + \frac{z + \tau}{\gamma_H} \right) \right] \left(\frac{p_H}{P}\right)^{-\varepsilon} Y$$

$$\pi_L = \left[\frac{p_L}{P} - \left(\frac{w}{\alpha_L} + \frac{r}{\beta_L} + \frac{z + \tau}{\gamma_L} \right) \right] \left(\frac{p_L}{P} \right)^{-\varepsilon} Y$$

Sabemos que el Markup está dado por:

$$\mu_H = \frac{p_H}{PCM_{gH}}$$

$$\mu_L = \frac{p_L}{PCM_{gL}}$$

De modo que podemos describir los beneficios del bien industrial de alto impacto ambiental en términos del Markup

Para esto, multiplicamos y dividimos por el costo marginal elevado a la $(1 - \varepsilon)$

$$\pi_H = \left[\frac{p_H}{P} - \left(\frac{w}{\alpha_H} + \frac{r}{\beta_H} + \frac{z + \tau}{\gamma_H} \right) \right] \left(\frac{p_H}{P} \right)^{-\varepsilon} Y \left[\frac{\left(\frac{w}{\alpha_H} + \frac{r}{\beta_H} + \frac{z + \tau}{\gamma_H} \right)^{1-\varepsilon}}{\left(\frac{w}{\alpha_H} + \frac{r}{\beta_H} + \frac{z + \tau}{\gamma_H} \right)^{1-\varepsilon}} \right]$$

$$\pi_H = \left(\frac{w}{\alpha_H} + \frac{r}{\beta_H} + \frac{z + \tau}{\gamma_H} \right)^{1-\varepsilon} \mu_H^{1-\varepsilon} Y - \left(\frac{w}{\alpha_H} + \frac{r}{\beta_H} + \frac{z + \tau}{\gamma_H} \right)^{1-\varepsilon} \left(\frac{p_H}{P \left(\frac{w}{\alpha_H} + \frac{r}{\beta_H} + \frac{z + \tau}{\gamma_H} \right)} \right)^{-\varepsilon} Y$$

$$\pi_H = \left(\frac{w}{\alpha_H} + \frac{r}{\beta_H} + \frac{z + \tau}{\gamma_H} \right)^{1-\varepsilon} \mu_H^{1-\varepsilon} Y - \left(\frac{w}{\alpha_H} + \frac{r}{\beta_H} + \frac{z + \tau}{\gamma_H} \right)^{1-\varepsilon} \mu_H^{-\varepsilon} Y$$

Ahora podemos encontrar el markup que maximice los beneficios, derivando los beneficios respecto al Markup:

$$\frac{\partial \pi_H}{\partial \mu_H} = (1 - \varepsilon) \mu_H^{-\varepsilon} \left(\frac{w}{\alpha_H} + \frac{r}{\beta_H} + \frac{z + \tau}{\gamma_H} \right)^{1-\varepsilon} Y + \varepsilon \left(\frac{w}{\alpha_H} + \frac{r}{\beta_H} + \frac{z + \tau}{\gamma_H} \right)^{1-\varepsilon} \mu_H^{-\varepsilon-1} Y = 0$$

$$(1 - \varepsilon)\mu_H^{-\varepsilon} \left(\frac{w}{\alpha_H} + \frac{r}{\beta_H} + \frac{z + \tau}{\gamma_H} \right)^{1-\varepsilon} Y = -\varepsilon \left(\frac{w}{\alpha_H} + \frac{r}{\beta_H} + \frac{z + \tau}{\gamma_H} \right)^{1-\varepsilon} \mu_H^{-\varepsilon-1} Y$$

$$\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} = -\mu_H^{-\varepsilon-1+\varepsilon} = -\mu_H^{-1}$$

$$\mu_H^{-1} = \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon}$$

Lo mismo ocurre con el bien industrial de bajo impacto ambiental, de modo que:

$$(III.) \quad \mu_H^* = \mu_L^* = \frac{\varepsilon}{\varepsilon-1} \rightarrow \text{Markup que maximiza beneficios}$$