



ESTUDIOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN AMÉRICA LATINA

El impuesto Daly-Correa

Estimaciones preliminares sobre su potencial recaudatorio

Arturo Antón



NACIONES UNIDAS

CEPAL



cooperación
alemana

DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT

El impuesto Daly-Correa

Estimaciones preliminares sobre su potencial recaudatorio

Arturo Antón



Este documento fue preparado por Arturo Antón, Consultor de la Unidad de Cambio Climático de la División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), en el marco de las actividades del proyecto “Cambio estructural para un desarrollo sostenible e inclusivo en América Latina y el Caribe” en su componente Reforma Fiscal Ambiental (GER/14004), ejecutado por la CEPAL en conjunto con la Agencia Alemana de Cooperación Internacional (GIZ), y financiado por el Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo de Alemania (BMZ).

Las opiniones expresadas en este documento, que no ha sido sometido a revisión editorial, son de exclusiva responsabilidad del autor y pueden no coincidir con las de la Organización.

Índice

Resumen	5
Introducción	7
I. El Modelo	9
A. Región importadora de petróleo.....	9
B. Región exportadora de petróleo.....	10
C. Gobierno.....	11
D. Mercado mundial de petróleo.....	12
E. Solución.....	12
II. Calibración y datos	13
III. Resultados	17
IV. Marco institucional y normativo	21
A. Descripción del problema.....	21
B. Soluciones al problema.....	22
1. Cooperación a través de acuerdos	22
2. Formación de clubes	23
C. El fondo común	24
V. Conclusiones	27
Bibliografía.....	29

Cuadros

Cuadro 1	Tasa de crecimiento anual del PIB mundial, precio del petróleo y tasa de crecimiento anual en la producción de petróleo de esquistos, 2020-2030.....	15
Cuadro 2	Proyecciones del precio y exportaciones de petróleo bajo distintos escenarios para la producción de petróleo de esquistos	18
Cuadro 3	Proyecciones de los términos de intercambio y la balanza comercial bajo distintos escenarios para la producción de petróleo de esquistos	19
Cuadro 4	Recaudación esperada del impuesto Daly-Correa bajo distintos escenarios para la producción de petróleo de esquistos	20

Resumen

En este documento se ofrecen estimaciones sobre la recaudación potencial del eco-impuesto Daly-Correa aplicable a las exportaciones mundiales de petróleo para el periodo 2020-2030. Las estimaciones contemplan escenarios alternativos sobre la producción esperada de petróleo de esquistos, debido a su creciente impacto sobre la producción global. Para este propósito, se utiliza un modelo económico para el mercado mundial de petróleo. Entre otras cosas, el modelo requiere proyecciones para la tasa de crecimiento de la economía mundial, las exportaciones mundiales de petróleo, los precios futuros del barril de petróleo, y la producción esperada de petróleo de esquistos. En él, se supone que el impuesto se implementa de manera permanente a partir del año 2020. Los escenarios contemplan tres tasas alternativas del eco-impuesto: 1,5 y 10 por ciento.

El modelo sugiere que la recaudación esperada sería de 11.4 miles de millones de dólares (mmd) anuales en el año 2020 con una tasa del eco-impuesto de uno por ciento. Esta recaudación se ubicaría entre 11.2 y \$12.2 millones de dólares hacia el año 2030, dependiendo de los escenarios alternativos sobre la producción de petróleo de esquistos. Para tasas de impuesto de 5 y 10%, la recaudación para el año 2030 se estima entre 57.5 y 62.9 mmd, y entre 119.5 y 130.5 mmd anuales, respectivamente. Estas estimaciones suponen que el precio por barril de petróleo (sin impuestos) se incrementa gradualmente durante el periodo de análisis, hasta alcanzar un precio por encima de 100 dólares por barril en el año 2030. Estas proyecciones están en conformidad con aquellas reportadas por la U.S. Energy Information Administration. Este estudio contiene una importante cantidad de supuestos de comportamiento y sobre las proyecciones de variables clave que implican una elevada incertidumbre en los resultados. Por este motivo las estimaciones realizadas deben de tomarse con precaución.

Introducción

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) representan un riesgo a nivel mundial debido a sus efectos adversos sobre el clima y el bienestar de las generaciones presentes y futuras. En este contexto, un impuesto a las emisiones de GEI ayudaría no sólo a mitigar dichas emisiones sino a generar recursos para combatir el cambio climático a nivel global. La propuesta del impuesto Daly-Correa está basada precisamente en esa idea, a través de la implementación de un impuesto a las exportaciones mundiales de petróleo crudo.

En este documento se ofrecen estimaciones sobre la recaudación potencial del eco-impuesto Daly-Correa para el periodo 2020-2030, bajo el supuesto de que el impuesto se implementa de manera permanente a partir del año 2020. Las estimaciones contemplan escenarios alternativos sobre la producción esperada de petróleo de esquistos, debido a su creciente impacto en la economía global. Para este propósito, se utiliza un modelo económico de equilibrio general para el mercado mundial de petróleo. En él se supone que los países productores de petróleo exportan este hidrocarburo a los países no productores del mismo, y a su vez pueden importar otros bienes de estos países. En el modelo, el petróleo es el único bien exportado por los países productores de petróleo. Cabe destacar que, al ser un modelo de equilibrio general, tanto el precio como las cantidades de petróleo se resuelven de manera endógena.

Entre otros supuestos, el modelo económico requiere proyecciones para la tasa de crecimiento de la economía mundial, las exportaciones mundiales de petróleo, los precios futuros del barril de petróleo, y la producción esperada de petróleo de esquistos. Con base en esta información, el modelo permite evaluar los efectos del impuesto sobre el precio y las exportaciones de petróleo y, en consecuencia, sobre la recaudación esperada. En las simulaciones se consideran tres tasas alternativas de impuesto: 1,5 y 10 por ciento. En todos los casos, tanto el precio del petróleo como la recaudación estimada se reportan a precios constantes del año 2013.

El modelo sugiere que la recaudación esperada sería de 11.4 miles de millones de dólares (mmd) anuales en el año 2020 con una tasa del eco-impuesto de uno por ciento. Esta recaudación se ubicaría entre 11.2 y 12.2 mmd hacia el año 2030, dependiendo de los escenarios alternativos sobre la producción de petróleo de esquistos. Si la tasa de impuesto se incrementara a 5%, se recaudarían entre 57.5 y 62.9 mmd anuales hacia el año 2030. Finalmente, los ingresos esperados serían de entre 119.5 y 130.5 mmd para el año 2030 si la tasa del eco-impuesto fuera de 10 por ciento.

Cabe señalar que ésta sería la recaudación potencial bajo el supuesto de que el impuesto se aplica efectivamente sobre el total de las exportaciones mundiales de petróleo. A su vez, los resultados

están basados en una trayectoria creciente para el precio por barril de petróleo (sin impuestos), hasta ubicarse por encima de los 100 dólares por barril en el año 2030. Esta trayectoria de precios está contemplada en el escenario de referencia de la U.S. Energy Information Administration (Annual Energy Outlook, 2015). Sin embargo, como lo señala Hamilton (2009), el precio del barril de petróleo es difícil de pronosticar inclusive a horizontes de tiempo relativamente cortos. Por tal motivo, los resultados obtenidos en este documento deben tomarse con cautela, pues dependen entre otras cosas de los precios futuros del hidrocarburo y de que este impuesto se aplique efectivamente sobre el total de las exportaciones mundiales. Asimismo, se utilizaron diversos supuestos de comportamiento de los agentes económicos representativos que no necesariamente corresponden a la realidad.

El resto del documento se divide como sigue. En la sección I se describe el modelo económico utilizado para hacer las proyecciones. La siguiente sección ofrece detalles sobre la calibración de los parámetros del modelo y los datos utilizados. La sección III presenta los resultados bajo distintos escenarios sobre la producción esperada del petróleo de esquistos y bajo distintas tasas del eco-impuesto. La sección IV contiene una discusión desde la perspectiva académica sobre los elementos institucionales y normativos de la posible implementación de un fondo para administrar los recursos provenientes del impuesto. La sección V conclusión.

I. El Modelo

El presente modelo es una versión simplificada de aquél planteado por Nakov y Nuño (2013). Es similar al modelo utilizado en Antón (2015), con la excepción de que ahora se incluye la producción de petróleo de esquistos como parte de la oferta mundial de este hidrocarburo. En particular, se consideran dos grupos de países: uno de ellos es productor de petróleo crudo “tradicional” y de petróleo de esquistos; el segundo grupo es importador del hidrocarburo. Toda la producción de petróleo se exporta a la región importadora. Esta región a su vez no produce petróleo.

A. Región importadora de petróleo

Los hogares de la región son idénticos entre sí, con lo cual el problema se puede plantear a través de un hogar representativo. La utilidad de dicho hogar en tiempo t está en función del consumo C_t de cierto bien, del ocio L_t , y del consumo de petróleo O_t . Siguiendo la especificación propuesta por Nakov y Nuño (2013), dicha función viene dada por:

$$U(C_t, O_t, L_t) = \log(C_t) + \frac{\nu_t O_t^{1-\eta}}{1-\eta} - \frac{L_t^{1+\psi}}{1+\psi}, \quad (1)$$

Donde η es el inverso de la elasticidad precio de la demanda por petróleo, y ψ es el inverso de la elasticidad de Frisch de la oferta laboral. El término ν_t denota la eficiencia en el uso del petróleo en la región importadora. Esta variable ν_t sigue una trayectoria exógena, la cual se definirá con detalle más adelante.

El hogar obtiene ingresos laborales $w_t L_t$, donde w_t es el salario denominado en unidades del bien de consumo C , que es el numerario. Como es usual en este tipo de modelos, los hogares poseen la totalidad de las acciones de las empresas, con lo cual los beneficios Π_t de éstas son distribuidos a los hogares. Sea s_t el precio del petróleo por unidad del bien de consumo. Con ello, la restricción presupuestal del hogar se puede escribir como:

$$C_t + s_t O_t = w_t L_t + \Pi_t. \quad (2)$$

El problema del hogar consiste en escoger las cantidades $\{C_t, O_t, L_t\}_{t=0}^{\infty}$ para maximizar su utilidad esperada de por vida:

$$\max_{\{C_t, O_t, L_t\}} \mathbf{E}_0 \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t U(C_t, O_t, L_t),$$

Sujeta a las expresiones (1) y (2). El factor de descuento β satisface $\beta \in (0,1)$.

De las condiciones de primer orden de este problema, se puede obtener la demanda de petróleo y la oferta de trabajo:

$$O_t = \left(\frac{v_t C_t}{s_t} \right)^{\frac{1}{\eta}}, \quad (3)$$

$$L_t = \left(\frac{w_t}{C_t} \right)^{\frac{1}{\psi}}. \quad (4)$$

A su vez, el bien final Y_t es producido por empresas idénticas en un contexto de competencia perfecta. El único insumo para producir dicho bien es el trabajo ℓ_t . La tecnología está representada por una función de producción de la forma:

$$Y_t = Z_t \ell_t^\alpha, \quad (5)$$

Donde Z_t es una variable de productividad y el parámetro α satisface $\alpha \in (0,1)$. La productividad Z_t sigue un proceso AR(1) en diferencia logarítmica: $\hat{g}_t^Z = \rho_Z \hat{g}_{t-1}^Z + \varepsilon_t^Z$, donde ρ_Z es el parámetro de persistencia, y además $\hat{g}_t^Z \equiv g_t^Z - g^Z$, $g_t^Z \equiv \log(Z_t/Z_{t-1})$, $g^Z = E(g_t^Z)$, y ε_t^Z es una innovación con media cero y varianza constante.

El problema estándar de maximización de beneficios permite obtener la demanda de trabajo óptima:

$$\ell_t = \frac{\alpha Y_t}{w_t}. \quad (6)$$

Finalmente, se puede mostrar que la restricción de recursos de la región está dada por:

$$C_t + s_t O_t = Y_t.$$

B. Región exportadora de petróleo

La producción de petróleo crudo “tradicional” O_t^* se lleva a cabo por empresas idénticas en un contexto de competencia perfecta¹. La empresa típica requiere de insumos intermedios X_t y de capital K_{t-1} para producir. En dicho caso, la tecnología está representada por la ecuación:

$$O_t^* = Z_t^* X_t^\gamma K_{t-1}^{1-\gamma}. \quad (7)$$

En la expresión (7), $\gamma \in (0,1)$ es un parámetro relacionado con la elasticidad precio de la oferta, como se detalla más abajo. A su vez, Z_t^* es una variable exógena de productividad en la producción de petróleo. Ésta sigue un proceso estacionario AR(1) de la forma $\log(Z_t^*) = \rho_{Z^*} \log(Z_{t-1}^*) + \varepsilon_t^{Z^*}$, donde la innovación $\varepsilon_t^{Z^*}$ tiene media cero y varianza constante. El insumo intermedio X_t es provisto por la región importadora de petróleo, mientras que el capital K_{t-1} es ofrecido por los hogares de la región exportadora a un precio de renta r_t . A su vez, todo el petróleo producido es exportado.

¹ En aquellos casos donde la región importadora y exportadora de petróleo compartan variables similares, éstas últimas se denotan con un asterisco.

Las exportaciones de petróleo “tradicional” están sujetas a una tasa de impuesto $\tau \in (0,1)$ sobre el nivel de producción. Con ello, la empresa típica debe escoger sus insumos para maximizar sus beneficios netos de impuesto:

$$\max_{X_t, K_{t-1}} \{(1 - \tau)s_t Z_t^* X_t^\gamma K_{t-1}^{1-\gamma} - X_t - r_t K_{t-1}\}.$$

De las condiciones de primer orden se pueden obtener las demandas óptimas de insumos:

$$X_t = (1 - \tau)\gamma s_t O_t^* \quad (8)$$

$$K_{t-1} = \frac{(1-\tau)(1-\gamma)s_t O_t^*}{r_t}. \quad (9)$$

Al sustituir la ecuación (8) en la función de producción de petróleo (7), se obtiene la curva de oferta de petróleo en el corto plazo:

$$O_t^* = [(1 - \tau)\gamma s_t]^{-\frac{\gamma}{1-\gamma}} (Z_t^*)^{-\frac{1}{1-\gamma}} K_{t-1}. \quad (10)$$

De (10), se puede mostrar que la elasticidad precio de la oferta de corto plazo, ϵ_s , es constante e igual a $\gamma/(1 - \gamma)$.

Por su parte, la utilidad esperada de por vida del hogar representativo es de la forma:

$$U = \mathbf{E}_0 \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t \log(C_t^*). \quad (11)$$

Al poseer la totalidad de las acciones de las empresas, el hogar recibe beneficios Π_t^* en cada periodo. También obtiene ingresos por la renta de capital a las empresas y por una transferencia de gobierno T_t . Estos ingresos los puede destinar a consumir o invertir. Con ello, su restricción presupuestal viene dada por:

$$C_t^* + I_t = r_{t-1} K_{t-1} + \Pi_t^* + T_t, \quad (12)$$

Donde I_t es inversión bruta. A su vez, la ley de movimiento del capital físico es de la forma estándar:

$$K_t = (1 - \delta)K_{t-1} + I_t. \quad (13)$$

En la ecuación (13), $\delta \in (0,1)$ es la tasa de depreciación del capital.

Con ello, el problema del hogar representativo consiste en escoger los niveles de consumo, inversión y de capital del siguiente periodo para maximizar (11) sujeto a (12) y (13), dado un nivel inicial de capital $K_{-1} > 0$.

De las condiciones de primer orden, se obtiene la ecuación de Euler del consumo:

$$1 = \beta \mathbf{E}_t \left(\frac{C_t^*}{C_{t+1}^*} \right) \left[\frac{(1-\tau)(1-\gamma)s_{t+1}O_{t+1}^*}{K_t} + 1 - \delta \right], \quad (14)$$

Donde se ha hecho uso de la expresión (9).

C. Gobierno

El único papel del gobierno consiste en fijar un impuesto τ sobre la producción de petróleo y otorgar transferencias de monto fijo T_t en unidades del bien de consumo C . Con ello, su restricción presupuestal es simplemente:

$$T_t = \tau s_t O_t^*. \quad (15)$$

Nótese que la restricción presupuestal (12) supone que la recaudación proveniente del impuesto se destina íntegramente a los países productores de petróleo.

D. Mercado mundial de petróleo

Al igual que en Backus y Crucini (2000), la producción mundial de petróleo tiene dos componentes. El primero de ellos es endógeno, de acuerdo con lo descrito en la sección 2.2. El segundo componente es exógeno al modelo, cuya producción se denota como O_t^S . Aquí, O_t^S representa la producción de petróleo de esquistos realizada por el mismo grupo de países que exportan petróleo “tradicional”. De esta forma, el equilibrio en el mercado mundial de petróleo viene dado por:

$$O_t^* + O_t^S = O_t. \quad (16)$$

Conforme a la especificación de Backus y Crucini (2000), la producción O_t^S sigue un proceso AR(1) de la forma $\log(O_t^S) = \rho_O \log(O_{t-1}^S) + \varepsilon_t^O$, donde el choque ε_t^O tiene media cero y varianza constante.

E. Solución

El modelo se resuelve utilizando la técnica de solución propuesta por Uhlig (1997). Esto requiere, en primer lugar, redefinir las variables no estacionarias en términos de sus versiones estacionarias (véase King et al., 1988). Una vez redefinidas las variables, el modelo se resuelve como un problema estándar de optimización con restricciones bajo incertidumbre. Finalmente, las ecuaciones no lineales del sistema se log-linealizan alrededor del estado estacionario. La solución permite obtener reglas de decisión para las variables endógenas en función de las variables de estado. Con ello, la dinámica de variables como el precio del petróleo y las exportaciones se pueden obtener a partir de una secuencia exógena para las variables de estado, como se detalla más abajo.

II. Calibración y datos

La calibración de ciertos parámetros es similar a aquella reportada en Antón (2015). Varios de ellos se calibran conforme a los valores usualmente utilizados en la literatura (véase, por ejemplo, Prescott, 1986, y King et al., 1988). En particular, la participación del trabajo en la función de producción, α , se fija en 0.66, mientras que la tasa de depreciación δ es de 10% anual. La tasa de descuento β se fija para ser consistente con una tasa de retorno del capital neta de depreciación de 6,5% anual y con una tasa de crecimiento tendencial de 2% anual (véase la discusión más abajo). Con base en la evidencia de Keane y Rogerson (2012), el inverso de la elasticidad de Frisch, ψ , se fija en 1.

Existen dos parámetros que tienen un interés especial en el modelo: las elasticidades precio de la oferta y demanda de petróleo. En ambos casos, la evidencia empírica es diversa, y se puede hacer una distinción entre las estimaciones de corto y largo plazo². Como se discute en Brook et al. (2004), las estimaciones para la elasticidad precio de la demanda pueden ser sensibles a la especificación econométrica y al periodo utilizado. A pesar de que existe consenso de que las elasticidades de largo plazo son mayores a las de corto plazo, el rango de estimaciones es amplio, especialmente para las elasticidades de largo plazo.

Respecto a la elasticidad precio de la oferta, resulta difícil proveer estimaciones confiables debido a la dificultad de distinguir entre los efectos de innovación técnica y de agotamiento de recursos (Smith, 2009). Sin embargo, existe un consenso de que la oferta de petróleo convencional es bastante inelástica, especialmente en el corto plazo. Al respecto, Gately (2004) utiliza elasticidades de corto plazo entre 0,03 y 0,05, y elasticidades de largo plazo entre 0,15 y 0,58. La OCDE (2004) utiliza valores intermedios de estos intervalos en su modelo sobre el mercado mundial de petróleo; esto es, 0,04 y 0,35 para el corto y largo plazo, respectivamente. Por su parte, Smith (2009) reporta que la Energy Information Administration (EIA) de EEUU. Trabaja con curvas de oferta más inelásticas aún, al suponer valores de 0,02 en el corto plazo y de 0,10 en el largo plazo.

En lo referente a la elasticidad precio de la demanda, Cooper (2003) utiliza un modelo de regresión múltiple para estimar la elasticidad en el corto y largo plazo. En particular, el autor utiliza datos anuales para 23 países durante el periodo 1971-2000. Sus resultados sugieren que la demanda de

² Para una revisión detallada de la literatura sobre la elasticidad precio de la demanda, véase Dahl (1993, 1995). Para la elasticidad precio de la oferta, véase Dahl y Duggan (1998), y Watkins y Streifel (1998). Brook et al. (2004) ofrecen un resumen sobre las estimaciones de elasticidad precio de oferta y demanda en el corto y largo plazo. Una revisión más reciente sobre ambas elasticidades se puede encontrar en Smith (2009).

petróleo de corto plazo es bastante inelástica, con estimaciones usualmente entre -0,02 y -0,11. Como es de esperar, las elasticidades de largo plazo en valor absoluto son mayores en general, aunque la demanda sigue siendo relativamente inelástica. En este último caso, las estimaciones varían entre -0,03 y -0,57. Por su parte, Gately y Huntington (2002) reportan una elasticidad precio de largo plazo de -0,64, para una muestra de países de la OCDE durante el periodo 1971-1997. Con base en este resultado, la OCDE (2004) utiliza una elasticidad precio de largo plazo de -0,6 para los países de la OCDE en su modelo sobre el mercado mundial de petróleo. En su revisión de literatura, Smith (2009) reporta que elasticidades de corto plazo de -0,05 y de largo plazo de -0,30 son estimaciones típicas en la literatura³.

Con base en esta evidencia, el parámetro γ se fija en 0,26. Esto implica una elasticidad precio de la oferta de 0,35, que corresponde a un valor intermedio del intervalo utilizado por Gately (2004) en el largo plazo. Por su parte, el modelo se calibra con una elasticidad precio de la demanda (en valor absoluto) de 0,30, que corresponde a un valor intermedio a los reportados por la literatura. Esto implica fijar $\eta = 3,33$.

En cuanto a los parámetros relacionados con la productividad en cada región, sin pérdida de generalidad el nivel de productividad Z^* en estado estacionario se fija en 1. Por su parte, el nivel de productividad Z en estado estacionario se fija de tal forma que el valor de las importaciones de petróleo como porcentaje del PIB de los países importadores, sO/Y , sea idéntico a los datos. Con base en Antón (2015), la razón sO/Y se estima en 1,6 por ciento.

Respecto a la variable de eficiencia en el uso del petróleo, se adopta una especificación similar a la de Nakov y Nuño (2013). En específico, se supone que v_t es función de la productividad en la producción de petróleo “tradicional” de acuerdo a $v_t = v_0(Z_t^*)^{\eta-1}$. Puesto que $\eta > 1$, esta especificación implica que la eficiencia en el uso del petróleo depende positivamente de la productividad Z_t^* . Sin pérdida de generalidad, v_0 se fija en uno.

Como se mencionó en la introducción, el modelo supone que el impuesto Daly-Correa se fija de manera permanente a partir del año 2020 y hasta el 2030, que es el último año para el cual se proveen proyecciones para las variables de interés. Para ello, se requiere una estimación de las exportaciones mundiales de petróleo crudo tradicional, del precio esperado por barril, y de la producción de petróleo de esquistos como porcentaje de la producción mundial de crudo, todas ellas para el año 2020. En particular, las exportaciones mundiales de petróleo crudo “tradicional” se estiman en 40.9 millones de barriles diarios (mbd) para el año 2020, utilizando información del OPEC World Oil Outlook (2014) y del Annual Energy Outlook (2015) elaborado por la U.S. Energy Information Administration (EIA). De acuerdo con proyecciones de la U.S. EIA, se estima un precio por barril de petróleo (a precios del 2013) de 76 dólares en 2020, que corresponde a un promedio simple de los precios del petróleo Brent y del West Texas Intermediate. Con base en las proyecciones del Annual Energy Outlook (2015), la producción de petróleo de esquistos se fija en 9,5% de la producción total de petróleo para el año 2020. Para propósitos de este documento, los países exportadores de petróleo son aquéllos que exportaron petróleo durante el periodo 2009-2013, de acuerdo con información del OPEC Annual Statistical Bulletin (2014).

Adicionalmente, se requiere construir una serie para cada una de las variables exógenas de estado Z_t , O_t^S , y Z_t^* para el periodo 2020-2030. La serie de Z_t se construye a partir de estimaciones para la tasa de crecimiento de la economía mundial. En este caso, todos los escenarios considerados suponen una tasa de crecimiento de la economía mundial de 2,1 por ciento anual para el periodo en cuestión, con base en información del OPEC World Oil Outlook (2014). Por su parte, la serie de O_t^S se construye con base en las estimaciones sobre la producción mundial esperada de petróleo de esquistos. En particular, se utiliza la producción esperada reportada en el Annual Energy Outlook (2015) bajo el escenario de referencia de la U.S. EIA. De acuerdo con este informe, se espera una producción de 7.5 mbd en el año 2020, la cual crece

³ Huntington (2010) reporta una elasticidad precio de largo plazo de -1.54 en EE.UU. El mismo autor reconoce que este valor es poco realista y su estimación es bastante incierta.

a 8.3 mbd en 2025 y a 9.2 mbd en 2030. Puesto que esta información sólo se provee en forma quinquenal, la información faltante se completa mediante una interpolación lineal.

Para la construcción de Z_t^* , se utiliza la regla de decisión del precio del petróleo $S(K_{t-1}, Z_t, O_t^S, Z_t^*)$. En específico, se supone que la economía se encuentra inicialmente en estado estacionario en el año 2020 con una tasa de impuesto $\tau = 0$. A su vez, los parámetros de persistencia se fijan en $\rho_Z = \rho_{Z^*} = \rho_O = 0,95$, con base en las especificaciones de King et al. (1988), Backus y Crucini (2000), y Nakov y Nuño (2013). Luego, dadas las series exógenas para Z_t y O_t^S más la regla de decisión para el capital $K_t = K(K_{t-1}, Z_t, O_t^S, Z_t^*)$, la serie de Z_t^* se construye de tal forma que $S(K_{t-1}, Z_t, O_t^S, Z_t^*)$ replique las proyecciones normalizadas del precio del petróleo para el periodo 2020-2030. Estas proyecciones se construyen con base en la información del Annual Energy Outlook (2015) sobre el precio esperado del barril de petróleo crudo para el periodo 2021-2030, de una manera similar al método utilizado para el año 2020 mencionado anteriormente. Puesto que la U.S. EIA sólo reporta precios en periodos quinquenales, los años restantes se estiman mediante una interpolación lineal.

La producción de petróleo de esquistos está sujeta a una gran incertidumbre. Por tal motivo, en la sección de resultados se consideran dos escenarios alternativos con base en información del Annual Energy Outlook (2015). En el primero, se supone una producción en el mercado internacional de 5.7 mbd de esta clase de hidrocarburo para el año 2020, la cual decrece gradualmente a 5.2 mbd en 2030. Este escenario se denomina de “Baja producción en petróleo de esquistos”, o Escenario 2. El segundo escenario supone que el nivel de producción en 2020 es de 9.3 mbd, y que éste crece gradualmente hasta alcanzar 14.6 mbd en 2030. Este escenario corresponde al de una “Alta producción en petróleo de esquistos”, o Escenario 3. Con esta información se construyen tasas de crecimiento para la producción esperada de petróleo de esquistos bajo cada escenario, lo cual permite a su vez construir la serie para O_t^S . Puesto que el Annual Energy Outlook (2015) sólo provee información para los años 2020 y 2030, se supone que la tasa de crecimiento se mantiene constante durante el periodo.

Para propósitos ilustrativos, el cuadro 1 presenta las proyecciones de las tasas de crecimiento de la economía mundial, los precios del petróleo, y la tasa de crecimiento de la producción de petróleo de esquistos para el periodo 2020-2030. Como se comentó anteriormente, ésta es la información utilizada para construir las series de las variables exógenas de estado bajo los distintos escenarios.

Cuadro 1
Tasa de crecimiento anual del PIB mundial, precio del petróleo y tasa de crecimiento anual en la producción de petróleo de esquistos, 2020-2030

Año	Tasa de crecimiento anual del PIB mundial (en porcentajes)	Precio del petróleo (dólares por barril a precios constantes del año 2013)	Tasa de crecimiento anual petróleo de esquistos (escenario base, en porcentaje)	Tasa de crecimiento anual petróleo de esquistos (escenario 2, en porcentaje)	Tasa de crecimiento anual petróleo de esquistos (escenario 3, en porcentaje)
2020	-	76,0	-	-	-
2021	2,1	78,3	2,1	-0,9	4,6
2022	2,1	80,6	2,1	-0,9	4,6
2023	2,1	83,0	2,1	-0,9	4,6
2024	2,1	85,5	2,1	-0,9	4,6
2025	2,1	88,0	2,1	-0,9	4,6
2026	2,1	90,7	2,0	-0,9	4,6
2027	2,1	93,5	2,0	-0,9	4,6
2028	2,1	96,4	2,0	-0,9	4,6
2029	2,1	99,4	2,0	-0,9	4,6
2030	2,1	102,5	2,0	-0,9	4,6

Fuente: Elaboración propia con base en información del World Oil Outlook (2014) de la OPEP y del Annual Energy Outlook (2015) de la U. S. Energy Information Administration.

III. Resultados

En esta sección se ofrecen los resultados del modelo en términos de precios y exportaciones de petróleo, términos de intercambio, balanza comercial y recaudación esperada del impuesto Daly-Correa para el periodo 2020-2030. Los escenarios considerados difieren tanto en función de la producción esperada de petróleo de esquistos como de la tasa de impuesto sobre las exportaciones de petróleo.

El cuadro 2 presenta las proyecciones de los precios y exportaciones de petróleo. Considere la información de la primera celda que corresponde al caso sin impuestos. Bajo el escenario base para la producción de petróleo de esquistos, el modelo estima que las exportaciones de petróleo disminuyen gradualmente de 40.9 mbd en 2020 a 30.5 mbd en 2030. Para el escenario 2, el precio del barril de petróleo se incrementa gradualmente a partir del año 2021, hasta alcanzar 106,5 dólares por barril en 2030. Por el contrario, el incremento en el precio es más modesto bajo el Escenario 3, hasta alcanzar un nivel de 101,3 dólares por barril en 2030. En general, esto se debe a la mayor oferta de petróleo derivada de la mayor producción en petróleo de esquistos. En cada caso, las exportaciones no difieren mucho respecto al escenario base.

La segunda celda del cuadro 2 muestra los resultados con una tasa de impuesto de 1% sobre las exportaciones de petróleo. En cada caso, se puede observar que las exportaciones disminuyen relativamente poco respecto al escenario sin impuestos. Un resultado similar se obtiene para tasas de impuesto de 5 y 10 por ciento.

Por su parte, el cuadro 3 muestra los términos de intercambio y la balanza comercial como proporción de las exportaciones, ambas medidas desde la perspectiva de los países exportadores de petróleo. Para cada uno de los posibles escenarios, el índice de los términos de intercambio se normaliza a 1 en el año 2020. Para el escenario base, el incremento de 36% en los términos de intercambio para el periodo 2020-2030 es reflejo del incremento esperado en el precio por barril de petróleo, de 76 dólares en el 2020 a 102,5 dólares en el 2030. Se observa también que los términos de intercambio son más favorables bajo el Escenario 2, y más desfavorables bajo el Escenario 3 en cada periodo.

En el cuadro 3 también se reporta un déficit en la balanza comercial para los países exportadores de petróleo, equivalente a un 10% de sus exportaciones bajo el escenario base sin impuestos. Para este mismo caso, la medida relativa de la balanza comercial mejora ligeramente bajo el Escenario 2, y empeora modestamente bajo el escenario 3. Como es de esperarse, la balanza comercial empeora cuando se fija un impuesto a las exportaciones de petróleo, y resulta bastante sensible a éste. Por ejemplo, en el caso del escenario base el déficit relativo de la balanza comercial se incrementa entre 50 y 60% para una tasa de impuesto de 5 por ciento. Por supuesto, estos resultados

deben tomarse con cautela puesto que el modelo supone que el petróleo es el único bien que exportan los países petroleros. Sin embargo, el resultado sugiere que los países cuyas exportaciones dependen fuertemente del petróleo podrían experimentar fuertes caídas en su balanza comercial (medida como porcentaje de sus exportaciones). Ello sugiere la importancia de que cualquier estrategia impositiva debe de estar acompañada de una mayor diversificación las exportaciones.

Cuadro 2
Proyecciones del precio y exportaciones de petróleo bajo distintos escenarios para la producción de petróleo de esquistos

Año	Escenario Base		Baja Producción en petróleo de esquistos (escenario 2)		Alta Producción en petróleo de esquistos (escenario 3)	
	Precio	Exportaciones	Precio	Exportaciones	Precio	Exportaciones
Escenarios sin impuestos						
2020	76,0	40,9	76,0	40,9	76,0	40,9
2022	80,6	38,1	82,5	38,3	81,3	38,0
2024	85,5	36,1	88,1	36,4	85,8	35,9
2026	90,7	34,2	94,0	34,6	90,7	33,8
2028	96,4	32,3	100,1	32,8	95,8	31,9
2030	102,2	30,5	106,5	31,2	101,3	30,0
Tasa de impuesto: 1 por ciento						
2020	76,8	40,7	76,8	40,7	76,8	40,7
2022	82,6	38,0	83,3	38,1	82,1	37,9
2024	87,7	36,0	89,0	36,3	86,7	35,8
2026	93,0	34,1	94,9	34,5	91,6	33,7
2028	98,7	32,2	101,1	32,8	96,8	31,8
2030	104,7	30,5	107,6	31,1	102,3	29,9
Tasa de impuesto: 5 por ciento						
2020	80,0	40,2	80,0	40,2	80,0	40,2
2022	86,1	37,5	86,8	37,7	85,5	37,4
2024	91,4	35,5	92,8	35,8	90,4	35,3
2026	97,0	33,6	98,8	34,1	95,4	33,3
2028	102,9	31,8	105,3	32,4	100,9	31,4
2030	109,1	30,1	112,0	30,8	106,7	29,5
Tasa de impuesto: 10 por ciento						
2020	84,4	39,6	84,4	39,6	84,4	39,6
2022	90,9	36,9	91,7	37,1	90,3	36,8
2024	96,5	35,0	97,9	35,2	95,4	34,8
2026	102,3	33,1	104,3	33,5	100,8	32,8
2028	108,6	31,3	111,0	31,8	106,6	30,9
2030	115,1	29,6	118,1	30,3	112,7	29,1

Fuente: Elaboración propia. Véase el texto para mayores detalles.

Precio dólares en barril a precios constantes de 2013. Con excepción del escenario sin impuestos, el precio reportado incluye el impuesto correspondiente sobre los ingresos petroleros. Exportaciones mundiales de petróleo (millones de barriles diarios)

Cuadro 3
Proyecciones de los términos de intercambio y la balanza comercial bajo distintos escenarios para la producción de petróleo de esquistos

Año	Escenario Base		Baja Producción en petróleo de esquistos (escenario 2)		Alta Producción en petróleo de esquistos (escenario 3)	
	Términos de intercambio	Exportaciones netas/exportaciones	Términos de intercambio	Exportaciones netas/exportaciones	Términos de intercambio	Exportaciones netas/exportaciones
Escenarios sin impuestos						
2020	1,00	-0,10	1,00	-0,10	1,00	-0,10
2022	1,08	-0,10	1,09	-0,10	1,07	-0,11
2024	1,14	-0,10	1,16	-0,09	1,13	-0,11
2026	1,21	-0,10	1,24	-0,08	1,19	-0,11
2028	1,29	-0,10	1,32	-0,08	1,26	-0,11
2030	1,36	-0,10	1,40	-0,07	1,33	-0,12
Tasa de impuesto: 1 por ciento						
2020	1,00	-0,12	1,00	-0,12	1,00	-0,12
2022	1,08	-0,11	1,09	-0,11	1,07	-0,12
2024	1,14	-0,11	1,16	-0,10	1,13	-0,12
2026	1,21	-0,11	1,24	-0,09	1,19	-0,12
2028	1,29	-0,11	1,32	-0,09	1,26	-0,13
2030	1,36	-0,11	1,40	-0,08	1,33	-0,13
Tasa de impuesto: 5 por ciento						
2020	1,00	-0,16	1,00	-0,16	1,00	-0,16
2022	1,08	-0,16	1,09	-0,15	1,07	-0,17
2024	1,14	-0,16	1,16	-0,15	1,13	-0,17
2026	1,21	-0,16	1,24	-0,14	1,19	-0,17
2028	1,29	-0,15	1,32	-0,13	1,26	-0,17
2030	1,36	-0,15	1,40	-0,13	1,33	0,18
Tasa de impuesto: 10 por ciento						
2020	1,00	-0,23	1,00	-0,23	1,00	-0,23
2022	1,08	-0,23	1,09	-0,22	1,07	-0,23
2024	1,14	-0,22	1,16	-0,21	1,13	-0,23
2026	1,21	-0,22	1,23	-0,20	1,19	-0,24
2028	1,29	-0,22	1,31	-0,19	1,26	-0,24
2030	1,36	-0,22	1,40	-0,19	1,33	-0,24

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Términos de intercambio (índice): precio del país exportador de petróleo entre el precio del país importador.

El cuadro 4 muestra los resultados principales del documento, esto es, la recaudación esperada del impuesto Daly-Correa bajo los distintos escenarios considerados. Bajo el escenario base, un impuesto de 1% recaudaría 11.42 mmd anuales en el 2020. Esta recaudación aumentaría gradualmente hasta alcanzar 11.64 mmd en el 2030. Naturalmente, la recaudación es mayor a medida que se incrementa la tasa de impuesto. Por ejemplo, para el caso de una tasa de 10% podrían recaudarse 124.41 mmd anuales para el año 2030. En el caso del escenario con baja producción de petróleo de esquistos, las exportaciones son mayores respecto al escenario base. Como resultado, la recaudación esperada aumenta respecto al escenario base para cada nivel de impuesto. Por una razón similar, ocurre exactamente lo opuesto en un escenario con alta producción de petróleo de esquistos. Sin embargo, en este último caso la recaudación no disminuye de manera considerable respecto al escenario base. En general, los resultados del cuadro 4 sugieren que la recaudación no diferiría substancialmente en función de la producción esperada del petróleo de esquistos.

Cuadro 4
Recaudación esperada del impuesto Daly-Correa bajo distintos escenarios
para la producción de petróleo de esquistos

Año	Escenario Base	Baja Producción en petróleo de esquistos (escenario 1)	Alta Producción en petróleo de esquistos (escenario 2)
Tasa de impuesto: 1 por ciento			
2020		11,42	11,42
2022		11,46	11,60
2024		11,52	11,78
2026		11,57	11,94
2028		11,61	12,08
2030		11,64	12,22
Tasa impuesto: 5 por ciento			
2020		58,76	58,76
2022		58,99	59,70
2024		59,30	60,63
2026		59,53	61,44
2028		59,72	62,17
2030		59,90	62,86
Tasa impuesto: 5 por ciento			
2020		122,05	122,05
2022		122,54	124,01
2024		123,17	125,93
2026		123,65	127,58
2028		124,06	129,08
2030		124,41	130,51

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Miles de millones de dólares anuales a precios constantes de 2013.

VI. Marco institucional y normativo

Hasta este momento, se han ofrecido estimaciones de los efectos del impuesto Daly-Correa sobre las variables de interés y sobre su potencial recaudatorio. El siguiente paso consiste en ofrecer una discusión desde la perspectiva académica sobre los elementos a considerar para la construcción de un marco institucional y normativo del eco-impuesto Daly-Correa. Este es el propósito de esta sección. Cabe señalar que la siguiente discusión toma como referencia la experiencia de los pasados intentos por tratar de construir acuerdos globales para la disminución de emisiones contaminantes.

A. Descripción del problema

El problema del cambio climático se puede caracterizar en términos de la “tragedia de los comunes” a nivel global. El problema consiste en que la atmósfera es un recurso compartido por todos los países (el bien común), en la cual se pueden depositar CO₂ y otros GEI. En el largo plazo, la mayoría de los países se vería beneficiada por una disminución en las emisiones globales de los GEI a la atmósfera. Sin embargo, cada país en lo individual tiene pocos incentivos para reducir sus emisiones de GEI. Esto se debe a que sólo una pequeña fracción de los beneficios de invertir en reducciones de CO₂ sería capturada por el país que incurre en dichos costos. En consecuencia, cada país de manera racional invierte poco para reducir sus emisiones de CO₂, esperando que otros países incurran en dichos costos (el problema del “oportunista”, o *free-rider*). Puesto que los países no internalizan los beneficios de sus estrategias de mitigación, las emisiones de GEI no disminuyen y, en consecuencia, el clima cambia de manera significativa (Edenhofer et al., 2013; Gollier y Tirole, 2015).

El problema del oportunista también puede entenderse desde una perspectiva intertemporal. Mientras que las generaciones presentes disfrutan de bienes de consumo generados mediante altas emisiones de carbono, las generaciones futuras se verían forzadas a pagar por dichas emisiones a través de un menor consumo o de un medio ambiente degradado (Nordhaus, 2015).

Si algún país decide de manera unilateral reducir las emisiones de GEI, existe la posibilidad de que estos esfuerzos se vean mitigados por las “fugas de carbón”. La idea es que las industrias contaminantes de dicho país se vuelven menos competitivas como resultado de los costos de mitigación. Esto lleva a que la producción se traslade a otros países con regulaciones ambientales más laxas, trayendo efectos nulos en términos de mitigación. Una “fuga” adicional proviene de la posibilidad de que la reducción de la demanda de energía fósil en los países mitigantes lleve a una disminución de su precio en los mercados internacionales, lo cual incentiva la demanda en los países no mitigantes.

B. Soluciones al problema

Existen al menos dos opciones para tratar de resolver el problema del oportunista: la cooperación a través de acuerdos y la formación de clubes⁴.

1. Cooperación a través de acuerdos

Las negociaciones relacionadas con el cambio climático se han estudiado desde la perspectiva de la teoría de juegos. En estos casos, la provisión del bien público se analiza a través de juegos estilizados como el “dilema del prisionero” o el “juego de la gallina” (Carraro y Siniscalco, 1993; Pittel y Rübhelke, 2012). Una característica de estos juegos es que la cooperación entre las partes no es un equilibrio. En consecuencia, la mejor respuesta de cada país es la acción unilateral. Como resultado la disminución en emisiones es relativamente baja (Nordhaus, 2015).

Una forma de inducir cooperación es a través de acuerdos ambientales internacionales. En este caso, los acuerdos voluntarios permiten que cada país cooperador esté mejor que bajo el equilibrio no cooperativo (Hoel, 1992; Carraro y Siniscalco, 1993). Sin embargo, la literatura sugiere que sólo un número pequeño de países participarían en un acuerdo de esta naturaleza; inclusive bajo este escenario, los mecanismos para hacer cumplir los compromisos serían cruciales para que el acuerdo funcione (Carraro y Siniscalco, 1993). A su vez, el número de participantes podría disminuir a medida que el acuerdo sea más estricto, esto es, que permita menores emisiones para cada país participante (Hoel, 1992). Por otra parte, es posible que la participación voluntaria en estos acuerdos sea baja, especialmente cuando las ganancias derivadas de la cooperación son grandes (Barrett, 1994).

Una manera de aumentar el número de países dentro del acuerdo o coalición es a través de transferencias entre los países participantes (Carraro y Siniscalco, 1993; Carraro et al., 2006). Inclusive, las transferencias pueden ser cruciales para que el equilibrio bajo cooperación voluntaria sea estable (Chandler y Tulkens, 1995; Eyckmans y Tulkens, 2003; Carraro et al., 2006; McGinty, 2007; y Weikard, 2009). En estos modelos, basta que un país abandone el acuerdo para que la coalición se destruya por completo. En consecuencia, la noción de estabilidad está basada en el planteamiento de un posible escenario catastrófico, de tal forma que se desincentive a los participantes a salirse. Como lo señala Nordhaus (2015), el problema con dicho planteamiento es que la estrategia de negociación no es creíble y, por tanto, resulta poco atractiva.

Otros autores señalan que una coalición de países participantes en el acuerdo ambiental no es estable, inclusive bajo la presencia de transferencias (Weikard et al., 2006; Nagashima et al., 2009; Bosetti et al., 2013). Estos estudios también reportan que sólo es posible garantizar la estabilidad del acuerdo si el número de países es pequeño, debido a que los incentivos para actuar como oportunista son fuertes. Como resultado, el abatimiento de emisiones contaminantes es bajo. La imposibilidad de encontrar coaliciones estables que puedan lograr reducciones significativas en contaminantes bajo acuerdos sin penalizaciones se conoce como la “paradoja de la coalición pequeña” (Nordhaus, 2015)⁵. En conclusión, los resultados de estos estudios sugieren que el esquema de transferencias no es suficiente para resolver el problema del oportunista bajo acuerdos sin penalizaciones.

Cramton et al. (2015a, 2015b) argumentan que el establecimiento de un compromiso común es indispensable para promover la cooperación en las negociaciones internacionales sobre el cambio climático. Los autores argumentan que el Protocolo de Kioto fracasó debido a que no hubo un

⁴ Ostrom (1990) señala que en comunidades pequeñas y estables es posible resolver el problema de la tragedia de los comunes, a través de incentivos para un uso responsable del recurso y de castigos para aquéllos que lo sobre-exploten. Sin embargo, como lo señalan Gollier y Tirole (2015) este tipo de soluciones resultan poco prácticas para resolver el problema del oportunista planteado en esta sección, el cual involucra a los más de 7 mil millones de habitantes del planeta.

⁵ En contraste, Weikard (2009) muestra que es posible lograr coaliciones estables con un gran número de participantes bajo ciertas reglas. McGinty (2007) señala que es posible lograr reducciones substanciales en contaminantes bajo coaliciones estables.

consenso sobre el compromiso común de reducir las emisiones contaminantes a los niveles existentes en 1990. En su lugar, se establecieron compromisos individuales y voluntarios que no modificaron la estrategia basada en el interés propio de cada país. De esta forma, el Protocolo de Kioto se convirtió en un acuerdo del tipo “cooperaré incluso si tú no cooperas”, donde los países actúan de forma altruista.

De acuerdo con Gollier y Tirole (2015), no hay forma de resolver la tragedia de los comunes con base en el altruismo. Por el contrario, la evidencia proveniente de experimentos de laboratorio y de campo sugiere que la cooperación condicionada es un patrón robusto de cooperación en contextos donde está presente el problema del oportunista. A diferencia del altruismo unilateral, la cooperación condicionada incentiva mayores niveles de cooperación (Cramton et al., 2015a).

En conclusión, la provisión de un bien público global está irremediablemente sujeta al problema del oportunista. Una posibilidad de resolver este problema es mediante acuerdos ambientales internacionales. Sin embargo, estos acuerdos están sujetos al dilema de Westfalia (Nordhaus, 2015): los principios del derecho internacional conducen a que acuerdos internacionales de esta naturaleza sean esencialmente voluntarios. Por su parte, cierta literatura sugiere que los esquemas de transferencias entre los miembros del acuerdo no son suficientes para resolver el problema del oportunista. Inclusive, estrategias altruistas del tipo “cooperaré incluso si tú no cooperas” no resolverían de manera efectiva el problema de la tragedia de los comunes. En consecuencia, la reducción de emisiones contaminantes sería limitada.

2. Formación de clubes

De acuerdo con Nordhaus (2015), una forma efectiva de resolver el problema del oportunista es mediante la formación de clubes. Al respecto, el autor identifica cuatro condiciones principales para el éxito de un club: (1) que exista un bien público que pueda compartirse; (2) que el acuerdo cooperativo (incluyendo posibles cuotas entre los participantes) sea benéfico para cada miembro; (3) que la membresía sea estable en el sentido de que nadie quiera abandonar el club; y (4) que los no-miembros puedan ser excluidos o penalizados a un costo relativamente bajo para los miembros.

Con base en estas condiciones, Nordhaus (2015) propone la formación de un “Club Climático”, donde el club sea un acuerdo entre los países participantes para reducir las emisiones contaminantes. Esto requiere, en primer lugar, que los participantes se enfoquen en una meta común. Esta meta puede fijarse en términos de precios (léase, un impuesto a las emisiones contaminantes) o cantidades. Al respecto, autores como Cooper (2008), Cramton et al. (2015b), Stiglitz (2015) y Weitzman (2015) sugieren fijar la meta en términos de precios en lugar de cantidades, entre otras cosas porque resulta más fácil de negociar. Como se discute en Cramton et al. (2015b), Gollier y Tirole (2015) y Weitzman (2015), un acuerdo voluntario en términos de cantidades resultaría en un número de metas equivalente al número de participantes, como ha quedado demostrado en las negociaciones del Protocolo de Kioto y en las cumbres de cambio climático. Una razón adicional de preferir una meta en términos de un precio único es que éste establece un punto focal, el cual reduce la dimensión del problema, facilita las negociaciones y aumenta las posibilidades de lograr un buen acuerdo (Schelling, 1960)⁶.

En segundo lugar, el “Club Climático” requiere imponer penalizaciones sobre los no participantes. De acuerdo con Nordhaus (2015), la penalización se llevaría a cabo mediante aranceles a las importaciones provenientes de los países no participantes. La propuesta no contempla aranceles específicos sobre bienes con alto contenido de carbón debido a las complejidades administrativas que esto generaría. Con ello, la motivación del arancel es sólo para inducir la participación en el acuerdo, no para desincentivar las emisiones contaminantes.

⁶ Weitzman (2015) señala que la ventaja adicional de fijar un precio o impuesto único sobre emisiones contaminantes es que permite a los países participantes internalizar la externalidad de manera natural, con lo cual se reduce el problema del oportunista.

La idea de imponer sanciones comerciales sobre los países no participantes en un acuerdo ambiental no es nueva (véase, por ejemplo, Barrett, 1997; Stiglitz, 2006; Cooper, 2008; Lessmann et al., 2009; y Metcalf y Weisbach, 2009). Barrett (1997) argumenta que la amenaza creíble de imponer este tipo de sanciones podría aliviar el problema del oportunista, en la medida que la participación en el acuerdo se incremente. Lessmann et al. (2009) reporta resultados similares para aranceles bajos; sin embargo, en la medida que los aranceles se incrementen por encima de cierto nivel umbral, el bienestar de los miembros de la coalición decrece, restándole así credibilidad a la sanción.

En este sentido, existe una controversia sobre si una penalización de esta naturaleza estaría en conformidad con las reglas de la Organización Mundial de Comercio (Edenhofer et al., 2013). Actualmente las reglas permiten imponer aranceles a las importaciones para contrarrestar la presencia de subsidios de gobierno en el país exportador. Cooper (2008) señala que podría implementarse un acuerdo internacional mediante el cual un impuesto a las emisiones de carbón se considere un costo adicional de producción. En este sentido, si este impuesto no es pagado por las empresas en complicidad con el gobierno, dicha acción sería considerada un subsidio de gobierno. De esta forma, podría justificarse un arancel sobre los países no participantes en el acuerdo. Bajo este esquema, posibles represalias comerciales de los países sancionados deberían estar prohibidas (Nordhaus, 2015).

Para analizar su propuesta, Nordhaus (2015) utiliza un modelo económico y climático con formación de coaliciones. El modelo sugiere que ningún país se uniría al club si no hay sanciones comerciales⁷. Para impuestos bajos al carbón, todos o casi todos los países se unirían al club, inclusive con aranceles bajos. Si los impuestos al carbón fueran de al menos 50 dólares pero menores a los 100 dólares por tonelada, se requerirían aranceles altos para inducir la inscripción al club. Finalmente, si el impuesto fuera de 100 dólares por tonelada no se lograría una participación completa inclusive con aranceles altos.

C. El fondo común

Como se mencionó en la sección anterior, existen varias razones para que se prefiera establecer una meta común en términos de precios entre los países participantes. Sin embargo, esta discusión ha dejado a un lado el tema de las asimetrías entre países. En principio, sería de esperar que existan desacuerdos entre países desarrollados y en desarrollo sobre cuál debería ser ese precio (impuesto) uniforme. Al respecto, Cramton et al. (2015b) argumentan sobre la necesidad de incluir transferencias de los países desarrollados a los países en desarrollo a través de un “Fondo Verde” o “Fondo Común”, con el objeto de inducir su participación en el acuerdo.

En este sentido, con anterioridad se ha mencionado que las transferencias no son suficientes para garantizar la estabilidad de un acuerdo de este tipo. Además de la razón expuesta líneas arriba, existe el problema adicional de que el establecimiento de un Fondo Común destruye la simplicidad de la negociación original sobre una meta común. Como se señala en Gollier y Tirole (2015), la negociación requeriría fijar la transferencia (positiva o negativa) de cada país al Fondo, con lo cual la dimensión del problema sería de $n + 1$ (siendo n el número de países más el precio a negociar). Así, se incrementaría la probabilidad de que el acuerdo sea inestable. Por otra parte, si no existen restricciones sobre cómo se reparten las transferencias, la inestabilidad del acuerdo es inevitable debido al síndrome de la “puñalada por la espalda” (Nordhaus, 2015): un grupo de países pertenecientes al acuerdo podrían formar una coalición alternativa para repartirse el Fondo de una mejor manera para ellos, en detrimento de los demás miembros del grupo.

⁷ Como lo indica Nordhaus (2015), el Protocolo de Kioto se podría entender como un club climático sin penalizaciones. Entre las varias simulaciones del modelo, el autor considera una condición inicial donde se forma un club con los países signatarios del Anexo I del Protocolo de Kioto. En ausencia de penalizaciones, el autor encuentra que el modelo colapsa a un equilibrio no cooperativo para cada una de sus simulaciones.

Para resolver al menos parcialmente estos problemas, Cramton et al. (2015b) sugieren un proceso de negociación en dos etapas. En la primera, se negocia una fórmula común sobre cómo se distribuirán las transferencias del Fondo. En la segunda, se fija el precio (esto es, el impuesto) al carbón⁸. Idealmente, la fórmula debe buscar de manera simultánea cómo maximizar el abatimiento de las emisiones de carbono. Para dicha fórmula, los autores sugieren que las transferencias (positivas o negativas) sean proporcionales a las emisiones en exceso de cada país. Las emisiones en exceso estarían definidas en relación al promedio de las emisiones mundiales per cápita. En la fórmula, naturalmente también debe determinarse la transferencia (medida en dólares por tonelada) por las emisiones en exceso. De esta manera, una fórmula común reduciría el “problema de dimensión” mencionado en el párrafo anterior.

⁸ Cramton et al. (2015b) describen en detalle el proceso de negociación para determinar un impuesto común a las emisiones de carbono.

V. Conclusiones

En este documento se han ofrecido estimaciones sobre la recaudación potencial de un eco-impuesto a las exportaciones mundiales de petróleo para el periodo 2020-2030. La metodología utilizada es de equilibrio general dinámico, la cual permite obtener el precio y la cantidad de petróleo en equilibrio ante los distintos escenarios considerados. Dada la creciente importancia de la producción de petróleo de esquistos, los escenarios planteados consideran distintas trayectorias para la producción de esta clase particular de hidrocarburo. Los resultados sugieren que la recaudación sería de 11.4, 58.8 y 122.0 mmd anuales en el mismo año de implementación (2020), dependiendo si la tasa de impuesto es de 1,5 ó 10%, respectivamente. Esta recaudación variaría relativamente poco hacia el año 2030, inclusive bajo los distintos escenarios sobre la producción esperada de petróleo de esquistos. Como se ha señalado en la introducción, estos resultados suponen que el precio por barril de petróleo muestra una trayectoria creciente durante el periodo de análisis, hasta alcanzar un precio por encima de los 100 dólares por barril en el año 2030. Naturalmente, los resultados obtenidos dependen crucialmente de esta variable. Debido a las dificultades reportadas para pronosticar este precio, los resultados deben tomarse con la reserva correspondiente. En este sentido, los resultados presentados en este trabajo son sólo preliminares.

El documento también ha incluido una discusión sobre el posible marco institucional y normativo para administrar los fondos provenientes de este eco-impuesto. Las negociaciones ambientales previas han sido poco eficaces para la reducción de emisiones contaminantes. Esto se debe, entre otras cosas, a que los acuerdos no han resuelto el problema de fondo, esto es, el problema del oportunista. Los acuerdos voluntarios han resultado insuficientes y, como se ha discutido, el establecimiento de esquemas de transferencias no es garantía para que un acuerdo de este tipo sea estable. Una forma de remediar el problema del oportunista es mediante penalizaciones creíbles a los países no participantes a través del comercio internacional. Por supuesto, una propuesta de este tipo no estaría exenta de controversias. Al mismo tiempo, penalizaciones a través de aranceles presumiblemente requerirían algunas modificaciones a los acuerdos comerciales internacionales vigentes, lo cual implicaría el establecimiento de negociaciones adicionales sobre este tema.

Por otra parte, existe cierto consenso de que es preferible fijar una meta común en términos de precios entre los países participantes de un acuerdo ambiental. En este sentido, el eco-impuesto Daly-Correa satisface claramente esta condición. Este punto focal podría reducir substancialmente el “problema de dimensión” asociado a una negociación basada en cantidades y, en consecuencia, podría facilitar la negociación. En cuanto al establecimiento de un fondo común financiado con la recaudación proveniente del eco-impuesto, la discusión previa señala que sería inviable negociar un

esquema de transferencias para cada país participante. Nuevamente, una negociación de este tipo simplemente aumentaría la dimensión del problema y, en consecuencia, la probabilidad de que no se alcance un acuerdo. Para remediar esto, idealmente se podría determinar una fórmula para la determinación de las transferencias que sea clara, sencilla, transparente, de fácil verificación y que aplique de manera común a todos los países participantes. Con ello, el proceso de negociación se reduciría a dos dimensiones: la fórmula común y el precio (impuesto) de las emisiones contaminantes.

Como lo ha mostrado la evidencia previa, el alcanzar acuerdos ambientales a nivel internacional es una tarea bastante compleja. El dilema de Westfalia mencionado anteriormente y que permea las relaciones internacionales dificulta la posibilidad de alcanzar acuerdos globales. Sin embargo, propuestas como el eco-impuesto Daly-Correa con esquemas de negociación e implementación bien diseñados podrían sentar las bases para lograr finalmente acuerdos eficaces sobre un tema tan relevante para todos.

Bibliografía

- Antón, Arturo (2015), “El Impuesto Daly-Correa: una Evaluación de Equilibrio General Dinámico”, *manuscrito*, Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- Backus, D. K. y Crucini, M. J. (2000), “Oil Prices and the Terms of Trade”, *Journal of International Economics* 50, 185–213.
- Barrett, S. (1997), “The Strategy of Trade Sanctions in International Environmental Agreements”, *Resource and Energy Economics* 19, 345-361.
- _____. (1994), “Self-Enforcing International Environmental Agreements”, *Oxford Economic Papers* 46, 878-894.
- Bosetti, V., Carraro, C., De Cian, E., Massetti, E. y Tavoni, M. (2013), “Incentives and Stability of International Climate Coalitions: An Integrated Assessment”, *Energy Policy* 55, 44-56.
- Brook, A. M., Price, R. W., Sutherland, D., Westerlund, N. y André, C. (2004), “Oil Price Developments: Drivers, Economic Consequences and Policy Responses”, OECD Economics Department *Working Paper* No. 412.
- Carraro, C., Eyckmans, J. y Finus, M. (2006), “Optimal Transfers and Participation Decisions in International Environmental Agreements”, *Review of International Organizations* 1, 379-396.
- _____. (1993), “Strategies for the International Protection of the Environment”, *Journal of Public Economics* 52, 309-328.
- Chandler, P. y Tulkens, H. (1995), “A Core-Theoretic Solution for the Design of Cooperative Agreements on Transfrontier Pollution”, *International Tax and Public Finance* 2, 279-293.
- Cooper, R. N. (2008), “The Case for Charges on Greenhouse Gas Emissions”, *Documento de Discusión* 08-10, Harvard Project on Climate Agreements.
- _____. (2003), “Price Elasticity of Demand for Crude Oil: Estimates for 23 Countries”, *OPEC Review* 27(1), 1-8.
- Cramton, P., Ockenfels, A. y Stoft, S. (2015a), “Symposium on International Climate Negotiations”, *Economics of Energy and Environmental Policy* 4(2), 1-4.
- _____. (2015b), “An International Carbon-Price Commitment Promotes Cooperation”, *Economics of Energy and Environmental Policy* 4(2), 51-64.
- Dahl, C. (1995), “Demand for Transportation Fuels: A Survey of Demand Elasticities and Their Components”, *Journal of Energy Literature* 1(2), 3-27.
- _____. (1993), “A Survey of Oil Demand Elasticities for Developing Countries”, *OPEC Review* 17(4), 399-420.
- Dahl, C. y Duggan, T. E. (1998), “Survey of Price Elasticities from Economic Exploration Models of U.S. Oil and Gas Supply”, *Journal of Energy Finance and Development* 3(2), 129-169.
- Edenhofer, O., Flachsland, C., Jakob, M. y Lessmann, K. (2013), “The Atmosphere as a Global Commons – Challenges for International Cooperation and Governance”, *Documento de Discusión* 13-58, Harvard Project on Climate Agreements.

- Eyckmans, J. y Tulkens, H. (2003), "Simulating Coalitionally Stable Burden Sharing Agreements for the Climate Change Problem", *Resource and Energy Economics* 25, 299-327.
- Gately, D. (2004), "OPEC's Incentives for Faster Output Growth", *Energy Journal* 25(2), 75-96.
- Gately, D. y Huntington, H. D. (2002), "The Asymmetric Effects of Changes in Price and Income on Energy and Oil Demand", *Energy Journal* 23(1), 19-55.
- Gollier, C. y Tirole, J. (2015), "Negotiating Effective Institutions against Climate Change", *Economics of Energy and Environmental Policy* 4(2), 5-27.
- Hamilton, J. (2009), "Understanding Crude Oil Prices", *Energy Journal* 30(2), 179-206.
- Hoel, M. (1992), "International Environment Conventions: The Case of Uniform Reductions of Emissions", *Environmental and Resource Economics* 2, 141-159.
- Huntington, H. D. (2010), "Short- and Long-Run Adjustments in U.S. Petroleum Consumption", *Energy Economics* 32, 63-72.
- Keane, M. y Rogerson, R. (2012), "Micro and Macro Labor Supply Elasticities: A Reassessment of Conventional Wisdom", *Journal of Economic Literature* 50, 464-476.
- King, R. G., Plosser, C. I. y Rebelo, S. T. (1988), "Production, Growth and Business Cycles I: The Basic Neoclassical Model", *Journal of Monetary Economics* 21, 195-232.
- Lessmann, K., Marschinski, R. y Edenhofer, O. (2009), "The Effects of Tariffs on Coalition Formation in a Dynamic Global Warming Game", *Economic Modelling* 26, 641-649.
- McGinty, M. (2007), "International Environmental Agreements among Asymmetric Nations", *Oxford Economic Papers* 59, 45-62.
- Metcalf, G. E. y Weisbach, D. (2009), "The Design of a Carbon Tax", *Harvard Environmental Law Review* 33(2), 499-556.
- Nagashima, M., Dellink, R., van Ierland, E. y Weikard, H. P. (2009), "Stability of International Climate Coalitions: A Comparison of Transfer Schemes", *Ecological Economics* 68, 1476-1487.
- Nakov, A. y Nuño, G. (2013), "Saudi Arabia and the Oil Market", *Economic Journal* 123, 1333-1362.
- Nordhaus, W. (2015), "Climate Clubs: Overcoming Free-riding in International Climate Policy", *American Economic Review* 105(4), 1339-1370.
- Organización de Países Exportadores de Petróleo (2014), *OPEC Annual Statistical Bulletin* 2014, Viena.
- _____ (2014), *OPEC World Oil Outlook* 2014, Viena.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (2004), "Oil Price Developments: Drivers, Economic Consequences and Policy Responses", en *OECD Economic Outlook*, volumen 2004 número 2, OECD Publishing, París.
- Ostrom, E. (1990), *Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action*, Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.
- Pittel, K. y Rübhelke, D. T. G. (2012), "Transitions in the Negotiations on Climate Change: From Prisoner's Dilemma to Chicken and Beyond", *International Environmental Agreements* 12, 23-39.
- Prescott, E. C. (1986), "Theory Ahead of Business Cycle Measurement" *Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy* 25(1), 11-44.
- Schelling, T. C. (1960), *The Strategy of Conflict*, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.
- Smith, J. L. (2009), "World Oil: Market or Mayhem?", *Journal of Economic Perspectives* 23(3), 145-164.
- Stiglitz, J. E. (2015), "Overcoming the Copenhagen Failure with Flexible Commitments", *Economics of Energy and Environmental Policy* 4(2), 29-36.
- _____ (2006), "A New Agenda for Global Warming", *The Economists' Voice* 3(7), 1-4.
- Uhlig, H. (1997), "A Toolkit for Analyzing Non-linear Dynamic Stochastic Models Easily", *manuscrito*, CentER, Universidad de Tilburg.
- U.S. Energy Information Administration (2015), *Annual Energy Outlook* 2015, Departamento de Energía de EEUU., Washington, D. C.
- Watkins, G. C. y Streifel, S. S. (1998), "World Crude Oil Supply: Evidence from Estimating Supply Functions by Country", *Journal of Energy Finance and Development* 3(1), 23-48.
- Weikard, H. P. (2009), "Cartel Stability under an Optimal Sharing Rule", *The Manchester School* 77(5), 575-593.
- Weikard, H. P., Finus, M. y Altamirano-Cabrera, J. C. (2006), "The Impact of Surplus Sharing on the Stability of International Climate Agreements", *Oxford Economic Papers* 58(2), 209-232.
- Weitzman, M. L. (2015), "Internalizing the Climate Externality: Can a Uniform Price Commitment Help?", *Economics of Energy and Environmental Policy* 4(2), 37-50.



Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)
Economic Commission for Latin America and the Caribbean (ECLAC)
www.cepal.org