



ESTUDIOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN AMÉRICA LATINA

Estimación del valor económico de la captura de carbono por efecto de la forestación en el Uruguay

Marcelo Caffera
Natalia D'Agosti



NACIONES UNIDAS

CEPAL





Estimación del valor económico de la captura de carbono por efecto de la forestación en el Uruguay

Marcelo Caffera
Natalia D'Agosti



Este documento fue preparado por Marcelo Caffera y Natalia D'Agosti, Consultores 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 programa EUROCLIMA (CEC/14/001), y contó con el financiamiento de la Unión Europea.

Ni la Unión Europea ni ninguna persona que actúe en su nombre es responsable del uso que pueda hacerse de la información contenida en esta publicación. Los puntos de vista expresados en este estudio son de los autores y no reflejan necesariamente los puntos de vista de la Unión Europea.

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

Publicación de las Naciones Unidas

LC/TS.2017/100

Distribución: Limitada

Copyright © Naciones Unidas, diciembre de 2017. Todos los derechos reservados

Impreso en Naciones Unidas, Santiago

S.17-00730

La autorización para reproducir total o parcialmente esta obra debe solicitarse a la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), División de Publicaciones y Servicios Web, publicaciones@cepal.org. Los Estados Miembros de las Naciones Unidas y sus instituciones gubernamentales pueden reproducir esta obra sin autorización previa. Solo se les solicita que mencionen la fuente e informen a la CEPAL de tal reproducción.

Índice

Resumen	5	
Introducción	7	
I. Modelo	9	
A. Módulo del ciclo del carbono.....	9	
B. Módulo de clima	10	
C. Modelo de emisiones	11	
D. Modelo de crecimiento	11	
E. Abatimiento	11	
II. El valor económico de la captura de CO ₂ por la forestación uruguaya	13	
III. Extensión del estudio al cambio de la matriz energética uruguaya	15	
IV. Conclusiones	17	
Bibliografía	19	
Cuadros		
Cuadro 1	Emisiones por cambios en el uso de la tierra y la silvicultura	13
Cuadro 2	Tasa de control por cambios en el uso de la tierra y la silvicultura	14
Cuadro 3	Ahorro de costos de abatimiento al resto del mundo por cambios en el uso de la tierra y silvicultura	14
Cuadro 4	Generación de energía por fuente	15
Gráficos		
Gráfico 1	Emisiones de CO ₂ en Uruguay	7
Gráfico 2	Evolución de la Generación de Energía por fuente y año en Uruguay	16

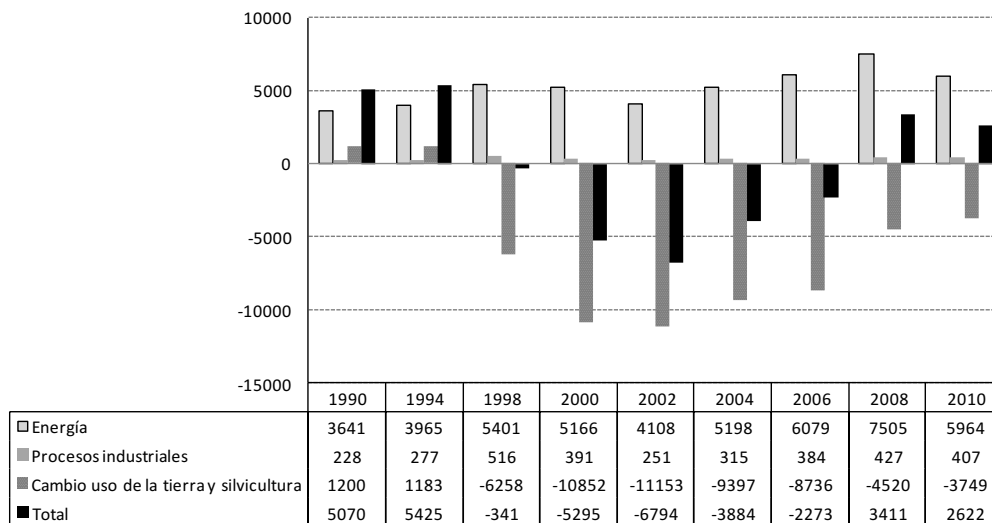
Resumen

En años recientes, Uruguay ha tenido emisiones netas negativas (captura) de carbono (CO₂). Lo que deriva en una externalidad positiva para el resto del mundo. El gobierno uruguayo puede usar este hecho como herramienta de negociación en su estrategia de financiamiento de reducciones adicionales de gases de efecto invernadero. Para tales efectos, en el presente trabajo se informa a los encargados de la política nacional de cambio climático sobre el valor económico que las capturas de CO₂ realizadas en Uruguay tienen para el resto del mundo, utilizando un sencillo modelo de Evaluación Integrada, ejercicio que no se había realizado en el país. Los resultados señalan que la captura de CO₂ alcanzó los 32 millones de dólares para el año 2005.

Introducción

En varios años de la década de los noventa y primera década del siglo XXI, las emisiones netas de CO₂ por parte de Uruguay fueron negativas. Tal como se aprecia en el gráfico 1, el principal factor se debió a la captura de carbono por parte de la industria forestal, ya que entre 1990 y 2010 el país forestó 689 000 hectáreas¹.

Gráfico 1
Emisiones de CO₂ en Uruguay
(En gigagramos)



Fuente: Ministerio de Vivienda Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, (2010).

¹ Los años que se muestran en el gráfico corresponden a los años en que se midieron o estimaron las emisiones; la mayoría derivó de la necesidad de presentar las comunicaciones nacionales a la Conferencia de las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC).

De acuerdo a las proyecciones de emisiones que Uruguay presentó en la vigésimo primera Conferencia de las Partes (COP21) de la CMNUCC en París, como parte del documento de presentación de sus Contribuciones Intencionales y Nacionalmente Determinadas (INDCs, por sus siglas en inglés), en 2030 Uruguay removerá 12 500 Gg (gigagramos) anuales de CO₂ por concepto de secuestro de carbono por silvicultura (Metas Uruguay 2030, 2015).

Uruguay presentó dos niveles de INDCs. El primero es menos ambicioso, en éste el país se compromete sin condiciones. El segundo es más ambicioso, aunque el país se compromete a una meta sólo en caso de conseguir financiamiento externo. En este sentido, un componente importante de la estrategia, en cuanto a la mitigación de emisiones, es acceder a mecanismos de financiamiento que se generen en la nueva institucionalidad internacional del cambio climático post acuerdo de París.

En este contexto, resulta importante calcular el valor económico de las remociones de CO₂ realizadas por Uruguay al menos por dos motivos. El primero, es que la remoción de CO₂ tiene un valor que la eficiencia económica requiere calcular para que el país sea compensado. Es claro que, por el tamaño de la economía uruguaya, su peso en las emisiones netas negativas del mundo no puede ser muy alto. Por ende, tampoco su valor económico. Sin embargo, la eficiencia económica requiere de este cálculo porque las remociones de emisiones resultan una externalidad positiva de Uruguay hacia el resto del mundo, que debe ser compensada de acuerdo al análisis económico en un contexto de cambio climático. En segundo lugar, las emisiones netas negativas, junto a la inversión en energías renovables realizada en la última década, han sido utilizadas por Uruguay como importantes cartas de negociación y presentación en la arena internacional. Sin embargo, no han incluido el cálculo de los beneficios económicos que la captura otorga al resto del mundo.

En este trabajo se estima el valor económico de la captura de carbono por parte de la forestación en Uruguay como una forma de empezar a cerrar esta brecha de conocimiento. El ejercicio pretende informar la política de cambio climático de la región, en especial, la de Uruguay.

Objetivo

Presentar los resultados de la estimación del valor económico de la remoción de CO₂ en la atmosfera por parte de la forestación en los años recientes.

Estado del arte

Hasta donde se sabe, no se han realizado ejercicios de este tipo en Uruguay, ni con la metodología señalada (ver sección siguiente), ni con alguna otra.

Método

El principal método para estimar el valor económico de la remoción neta de CO₂ en la atmosfera se basa en la utilización de un Modelo de Evaluación Integrada (Integrated Assessment Model; IAM por sus siglas en inglés). El modelo elegido es el MLIAM de Tol (2014). Su elección se basa en su sencillez, ya que el presente trabajo trata de dar un primer paso hacia la construcción de un modelo más complejo en el marco de la agenda de investigación en economía ambiental de la Universidad de Montevideo.

I. Modelo

A. Módulo del ciclo del carbono

El modelo de Tol (2014) consta de varios módulos interconectados. En el primero, se modela el “ciclo del carbono”, donde el input son las emisiones totales de dióxido de carbono en todo el mundo. El output es la concentración atmosférica de CO₂. Con el primer componente se trabaja como un modelo de “cinco cajas”, que no son más que una representación simplificada del verdadero ciclo del carbono. En cada una hay un porcentaje de las emisiones de ese año. Sumando el total de cada caja se obtiene la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera para ese año, medido en partes por millón (ppm). De esta forma, la concentración de CO₂ en la caja i ($i=1, \dots, 5$) en el año t ($CO_{2\ i,t}$) es:

$$CO_{2\ i,t} = \alpha_i CO_{2\ i,t-1} + \gamma \beta E_t \quad (1.1), \quad \text{donde:}$$

- α_i es el porcentaje del CO₂ acumulado en la caja i de la atmósfera al año anterior a t ($CO_{2\ i,t-1}$) que “sobrevive” hasta t y el cual puede tomar los siguientes valores:

Caja	α_i
1	1,0000
2	0,9972
3	0,9866
4	0,9429
5	0,6065

- E_t representa las emisiones totales de CO₂ a nivel mundial en el año t , medido en millones de toneladas métricas.
- γ es el porcentaje de emisiones totales que va a la caja i , el cual toma los siguientes valores:

Caja	γ
1	0,13
2	0,20
3	0,32
4	0,25
5	0,10

- β es una unidad de conversión de millones de toneladas métricas a ppm (su valor es 0,00047).

Por último, la concentración total de dióxido de carbono en la atmósfera para el año t es la suma de la concentración de CO_2 de las cinco cajas:

$$CO_{2t} = \sum_{i=1}^5 CO_{2i,t} \quad (1.2)$$

B. Módulo de clima

El output del modelo de “ciclo del carbono” sirve como input para el “módulo de clima”, el cual toma como insumo la concentración atmosférica de CO_2 y arroja el incremento medio de la temperatura de la superficie.

Este módulo consta de dos partes. En una primera, computa la energía extra que el efecto invernadero crea en la atmósfera. En la segunda, calcula su efecto a largo plazo en el incremento de la temperatura de equilibrio.

Para estimar la cantidad de energía extra en la atmósfera causada por aumentos en la concentración de CO_2 , se utiliza el “forzamiento radiativo”, medido en W/m^2 . La ecuación del forzamiento radiativo es la siguiente:

$$F_t = 5,35 \ln \frac{CO_{2t}}{CO_{2pre}} \quad (2.1)$$

Donde F_t es la fuerza radiativa causada por el CO_2 . CO_{2t} es la concentración de CO_2 en la atmósfera resultante del módulo anterior (ciclo del carbono) en el año t . Finalmente, CO_{2pre} es la concentración de CO_2 en la atmósfera durante la era pre-industrial, cuyo valor es 275 ppm. Por último, \ln es el logaritmo natural.

El siguiente paso es modelar la temperatura media global de la superficie a través de la ecuación:

$$T_t^A = T_{t-1}^A + \lambda_1(\lambda_2 F_t - T_{t-1}^A) + \lambda_3(T_{t-1}^O - T_t^A) \quad (2.2), \quad \text{donde:}$$

- T_t^A es la temperatura media global de la superficie terrestre en el año t .
- T_{t-1}^A es la temperatura media global de la superficie terrestre en el año $t-1$.
- $\lambda_1 = 0,0256$ simboliza que tan rápido la atmósfera responde a una desviación entre la temperatura actual y la de equilibrio.
- λ_2 (cuyo valor es 1,15) transforma el forzamiento radiativo, medido en W/m^2 , en una temperatura de equilibrio, medida en $^{\circ}C$. A modo de ejemplo, $\lambda_2 F_t(2) = \lambda_2 5,35 \ln(2) = 4,26$. Es decir, si se duplica la concentración de CO_2 en la atmósfera, el planeta se calienta en promedio $4,26^{\circ}C$. El calentamiento de equilibrio que se produciría si duplicáramos el CO_2 en la atmósfera se conoce como *sensibilidad del clima*.
- $\lambda_3 = 0,00738$ mide qué tan rápido la temperatura media global responde a la desviación entre la temperatura de la atmósfera y la temperatura media del océano (T_t^O). Esta última es igual a:

$$T_t^O = T_{t-1}^O + \lambda_4 * (T_{t-1}^A - T_{t-1}^O) \quad (2.3)$$

donde $\lambda_4 = 0,00568$ mide qué tan rápido el océano responde a una desviación de la temperatura entre el océano y la atmósfera.

C. Modelo de emisiones

Las emisiones que alimentan el módulo del ciclo del carbono derivan de la “identidad de Kaya” expresada como:

$$M_t^* = P_t * \left(\frac{Y_t}{P_t}\right) * \left(\frac{E_t}{Y_t}\right) * \left(\frac{M_t^*}{E_t}\right) \quad (3.1)$$

La cual, establece que las emisiones industriales de CO₂ en el año t (M_t^*), medidas en MtC, se pueden descomponer en la multiplicación de la población en el año t (P_t), por el PIB per cápita en el año t (Y_t/P_t), por la intensidad de uso de energía por unidad de producto (E_t/Y_t) y por la intensidad de emisión de la energía (M_t^*/E_t).²

D. Modelo de crecimiento

El siguiente paso es establecer un modelo que explique el nivel de producto a través de los años, denominado “modelo de crecimiento”, el cual permite calcular el PIB como una función del capital, la población y la tecnología. El PIB calculado mediante el modelo de crecimiento se utiliza para calcular las emisiones, suponiendo un valor o una trayectoria de intensidad de energía por unidad de producto y la intensidad de emisiones por unidad de energía. En este modelo, el nivel de producto en el año t obedece a la siguiente función de producción Cobb-Douglas:

$$Y_t^G = A_t * K_t^\alpha * P_t^{1-\alpha} \quad (4.1)$$

Donde A es el factor de productividad, K la cantidad de capital disponible para la producción, P es la población disponible para la producción y α la participación del capital en el producto (el modelo trabaja con $\alpha = 0,2$).

El año inicial de la base de datos utilizada es 1960 (Tol, 2014). El factor de productividad A de ese año se halla ajustando la ecuación (4.1) a los datos de 1960. Para los años posteriores, se asume que crece a una tasa constante, valor que se halla cuando el nivel de Y en 2010 coincide con los datos.

Por su parte, el nivel de capital (K) en el año t es a su vez función de la tasa de depreciación del capital ($\delta = 0,1$) y del nivel de inversión (I_{t-1}):

$$K_t = (1 - \delta)K_{t-1} + I_{t-1} \quad (4.2)$$

La inversión, a su vez, es una tasa fija “s” del producto de ese mismo año, siendo s, la tasa de ahorro igual a 0,2.

$$I_{r,t} = sY_t \quad (4.3)$$

E. Abatimiento

El modelo se completa con una tasa de abatimiento o control de emisiones y sus costos. Cuando no existe ninguna política de reducción de emisiones, su valor es cero, de existir tendrá algún costo asociado. De esta forma, R_t define la tasa de control de emisiones en el momento t. Por lo que las emisiones industriales netas de abatimiento son:

$$M_t = (1 - R_t)M_t^* \quad (5.1)$$

² Tol (2014) divide al mundo en tres regiones: rica, media y pobre, cada una de ellas con un nivel de crecimiento de producto, población y emisiones. Por practicidad, se trabaja con esas variables a nivel mundial, lo que es igual a la suma de las tres regiones.

Para calcular los costos totales de dicho abatimiento, primero se calcula el costo relativo de abatimiento de una política en el momento t :

$$B_t = \beta R_t^2 \quad (5.2), \quad \text{donde}$$

β es simplemente una constante que convierte la tasa de abatimiento de emisiones a un equivalente de las unidades de producto. De acuerdo a Tol (2014) su valor es de 0,1.

Utilizando B_t es posible expresar el costo de la política de cambio climático en términos de la reducción del nivel del PIB para un año determinado:

$$Y_t = (1 - B_t) * Y_t^G \quad (5.3)$$

Por último, el modelo se completa con una sección llamada “impactos del cambio climático y desarrollo”. En ella, se calcula el daño ocasionado por el aumento de la temperatura en un año como porcentaje del PIB. Esta ecuación no se presenta en el trabajo porque se considera que la silvicultura en Uruguay no tiene efectos significativos en la temperatura del planeta. Por eso mismo, se calcula el beneficio de la disminución de emisiones de Uruguay en base a los costos de abatimiento ahorrados para el resto del mundo, más que en los daños evitados.

II. El valor económico de la captura de CO₂ por la forestación uruguaya

Durante siete años consecutivos, Uruguay tuvo emisiones negativas de dióxido de carbono (CO₂) en el sector de cambio de uso de la tierra y silvicultura (véase el cuadro 1). En este sentido, el objetivo del estudio es calcular el beneficio económico que las emisiones capturadas por Uruguay representaron para el resto del mundo, medidas como un ahorro en los costos de abatimiento. El primer cálculo efectuado es el de la tasa de control de emisiones implícita que arroja la captura uruguaya. Es decir, el coeficiente derivado de la división de las toneladas de CO₂ capturadas por el país entre el total de emisiones a nivel global, también conocido como la tasa (marginal) de reducción de emisiones.

Cuadro 1
Emisiones por cambios en el uso de la tierra y la silvicultura
(En kilotoneladas)

Años	Emisiones
1998	-6 258
2000	-10 852
2002	-11 153
2004	-9 397
2006	-8 736
2008	-4 520
2010	-3 749

Fuente MVOTMA, (2010).

Tol (2014), asume que hasta 2010 no existía una política para reducir emisiones de dióxido de carbono. Por ende, la tasa de control y el costo de la política es cero. Por consiguiente, la captura de Uruguay en los años previos a 2010 es (para el modelo), igual a la tasa de control de emisiones a nivel mundial. En los años en que la tasa de control de emisiones en el modelo de Tol es mayor a cero, la captura uruguaya de CO₂ corresponde al incremento en la tasa (el abatimiento marginal). La tasa anual de abatimiento de emisiones implícita que representa la captura de CO₂ por forestación para los años en que Uruguay midió sus emisiones/capturas de CO₂ se muestra en el cuadro 2.

Cuadro 2
Tasa de control por cambios en el uso de la tierra y la silvicultura

Años	Captura en Uruguay (en megatoneladas)	Emisiones industriales globales de CO ₂ (en megatoneladas)	Tasa de control marginal implícita
1998	6,258	6 638	0,943*10 ⁻³
2000	10,852	6 750	1,608*10 ⁻³
2002	11,153	6 981	1,598*10 ⁻³
2004	9,397	7 782	1,208*10 ⁻³
2006	8,736	8 350	1,046*10 ⁻³
2008	4,52	8 749	0,516*10 ⁻³
2010	3,749	8 683	0,432*10 ⁻³

Fuente: Elaboración de los autores con base en información oficial.

Aplicando las ecuaciones (5.1), (5.2) y (5.3) del modelo, se halla que el valor económico de la captura de CO₂ en Uruguay por parte de la forestación en los años mencionados, generando los siguientes ahorros al resto del mundo:

Cuadro 3
Ahorro de costos de abatimiento al resto del mundo por cambios en el uso de la tierra y silvicultura
(En millones de dólares a precios de 2005)

Años	Ahorro
1998	2,807
2000	8,731
2002	9,219
2004	5,634
2006	4,523
2008	1,180
2010	0,880
Total	32 974

Fuente: Elaboración de los autores con base en las ecuaciones (5.1), (5.2) y (5.3).

El valor total (la suma de los años medidos) asciende a 32 millones de dólares de 2005. La cifra puede parecer pequeña, pero obedece al peso relativo de las emisiones de CO₂ uruguayas en el total mundial. Por otra parte, se puede argumentar que aunque pequeña, la cifra puede resultar importante para el sector.

III. Extensión del estudio al cambio en la matriz energética uruguaya

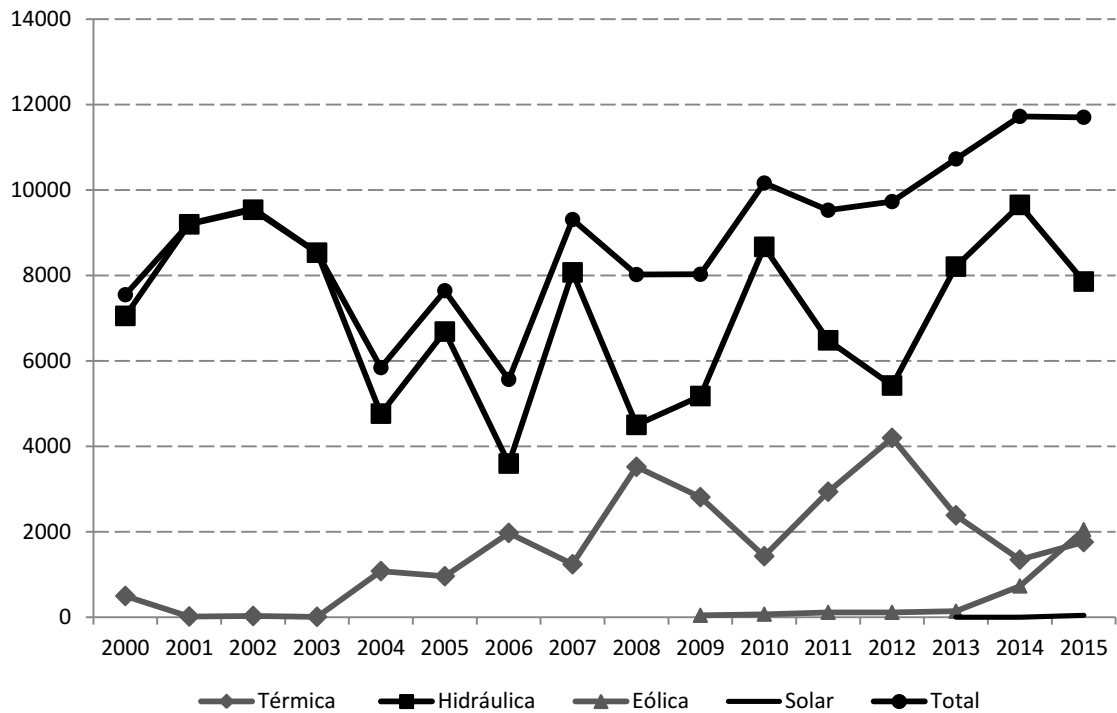
Uruguay apenas representa el 0,05% de las emisiones totales de origen antropogénico (Caffera, Plottier y Durán, 2013) y a pesar de que la contribución a las emisiones globales es ínfima, el país ha adquirido fama mundial por la reforma en su matriz energética. A continuación, se presenta un cuadro con la evolución de la generación de energía según la fuente, mismos que se presentan en el gráfico 2.

Cuadro 4
Generación de energía por fuente
(En gigavatios por hora)

Año	Total por generación térmica	Total por generación hidráulica	Eólica + Solar	Total
2000	495,06	7 050,67	—	7 545,72
2001	15,02	9 194,06	—	9 209,07
2002	26,00	9 535,37	—	9 561,36
2003	6,60	8 529,55	—	8 536,15
2004	1 076,80	4 762,32	—	5 839,12
2005	957,19	6 683,11	—	7 640,30
2006	1 970,31	3 593,95	—	5 564,26
2007	1 237,48	8 068,75	—	9 306,23
2008	3 517,79	4 500,03	—	8 017,82
2009	2 807,60	5 174,71	41,63	8 023,94
2010	1 425,76	8 666,31	68,00	10 160,07
2011	2 934,09	6 478,90	111,33	9 524,32
2012	4 194,49	5 420,85	110,87	9 726,21
2013	2 383,03	8 203,80	137,58	10 724,41
2014	1 342,93	9 649,13	728,23	11 720,29
2015	1 756,23	7 854,56	2 089,21	11 699,99

Fuente: MIEM, (2015).

Gráfico 2
Evolución de la generación de energía por fuente y año en Uruguay
(En gigavatios por hora)



Fuente: MIEM, (2015).

Tanto el cuadro 4 como el gráfico 2 buscan ilustrar como aumenta la generación de energía eólica en detrimento de la generación de energía térmica a partir de 2012 y en especial en 2014. Desafortunadamente, no se cuenta con datos del impacto de la reforma de la matriz energética uruguaya en cuanto a emisiones de CO₂. Pero estimar el valor de esta reforma para el resto del mundo en términos de abatimiento ahorrado sería la extensión natural de este trabajo.

IV. Conclusiones

La forestación en Uruguay ha sido una fuente importante de captación de CO₂, lo que constituye una externalidad positiva para el resto del mundo. Este trabajo aporta una estimación del valor económico de esta externalidad, medida como el costo de abatimiento ahorrado por el resto del mundo. Para ello se usa un modelo sencillo y didáctico presentado en Tol (2014). Tal como se mencionó al comienzo, este ejercicio puede ser útil para el gobierno uruguayo a la hora de reforzar la estrategia con la que se posiciona en la arena internacional referente a la negociación del cambio climático posterior al acuerdo de París.

El modelo arroja que la captura de CO₂ por parte de la forestación uruguaya alcanzó los 32 millones de dólares a precios de 2005. Más allá de las cifras puntuales, que salen de la aplicación de un modelo y valores puntuales (parámetros exógenos al modelo), se ilustra el tipo de ejercicio que el gobierno uruguayo puede usar como herramienta de negociación en su estrategia de financiamiento de reducciones adicionales de gases de efecto invernadero.

Bibliografía

- Caffera, M, Plottier y Durán (2013), “Producción agropecuaria y cambio climático: oportunidades para reducir las emisiones en la ganadería uruguaya” en El desafío del desarrollo sustentable en América Latina.
- MIEM (2015), “Energía: Publicaciones y Estadísticas” [en línea], <http://www.dne.gub.uy/publicaciones-y-estadisticas>.
- MVOTMA (2010), “Tercera comunicación nacional, a la conferencia de las partes en la convención marco de las Naciones Unidas”, Resumen ejecutivo, Uruguay.
- MVOTMA (2015), "Contribución Prevista Nacionalmente Determinada: propuesta metas de emisión al año 2030", Uruguay.
- Tol, R (2014), “Climate economics: economic analysis of climate change and climate policy”, Edward Elgar, Northampton, MA, USA.

En años recientes, las emisiones netas de carbono del Uruguay han sido negativas. El principal factor que ha contribuido a ello ha sido la captura de emisiones por parte de la industria forestal, y esto ha derivado en una externalidad positiva tanto para el país como para el resto del mundo. El Gobierno del Uruguay cuenta así con una herramienta de negociación dentro de su estrategia de financiamiento de reducciones adicionales, lo que le permitiría comprometerse con una meta más ambiciosa capaz de configurar la nueva institucionalidad internacional frente al cambio climático.

Para tales efectos, en este trabajo se calcula el valor económico de la eliminación de carbono —medido como el costo de abatimiento ahorrado al resto del mundo— por medio de un sencillo modelo de evaluación integrada nunca antes utilizado en el país. Se concluye que la captura de carbono alcanza una cifra significativa que, sumada a la inversión en energías renovables, sitúa a la economía uruguaya en una posición clave en la negociación climática.