

De Fósiles a Renovables: ¿Cómo acelerar la transición?

Mariano Rivero, Francisco del Pino, Lucas Bergés, Tomas Dicranian, Adriel
Bergman

Tutor: Pablo Sanguinetti

Universidad Torcuato Di Tella

Licenciatura en Economía

Departamento de Economía

Agosto 2016

Abstract

Este trabajo busca interpretar si el sector privado tiene incentivos suficientes para generar una transición hacia una matriz energética con mayor participación de recursos renovables. Planteamos, a su vez, las políticas fiscales óptimas que el gobierno debería aplicar para acelerar dicha transición. Con este fin, presentamos un modelo teórico en el que se produce un bien final que utiliza energía como insumo, la cual se puede generar a partir de recursos fósiles y de renovables, perfectamente sustituibles entre sí. Asumimos que las extracciones de los combustibles fósiles generan una externalidad negativa a partir de las emisiones de Green House Gases (de aquí en más GHGs); e introducimos esta variable en las preferencias del agente representativo de nuestra economía. Resolvemos el modelo para el caso de un planificador central que internaliza la concentración de GHGs y para el caso descentralizado donde decide el agente privado. Posteriormente, analizamos las políticas necesarias para replicar los resultados en ambos casos.

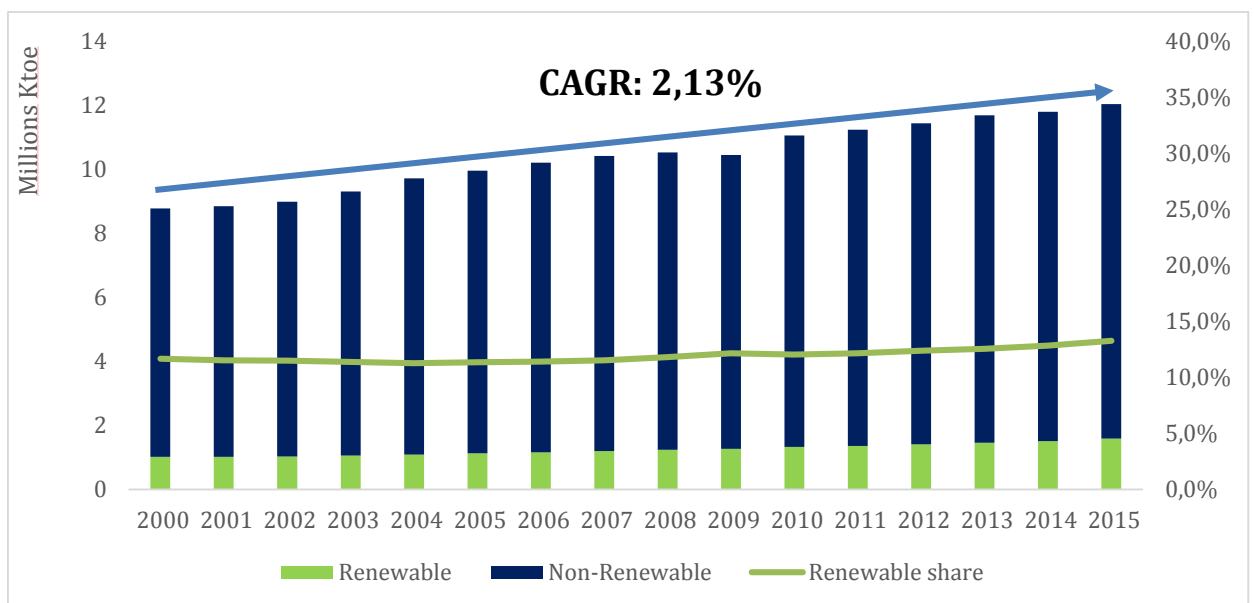
1. Introducción

Desde la revolución industrial, el sector energético se ha convertido en una pieza clave para el desarrollo de la economía de los países. Casi todas las actividades de todas las industrias dependen del uso de la misma, y su consumo se ha convertido en algo fundamental para la vida de las personas. El constante crecimiento tanto de la población mundial como de la economía, ha resultado en un aumento considerable de la demanda global de energía y junto a ella, a una necesidad de abastecimiento mucho más importante. Esta misma, en gran parte, ha sido satisfecha por un incremento de la extracción de energías fósiles, principalmente debido a varios factores, como:

- Gran disponibilidad de recursos a nivel mundial
- Menor costo y facilidad de extracción

El resultado fue un sector energético con una clara dependencia sobre la fuente de energía fósil.

Fig 1: Consumo bruto de energía (ktoe)

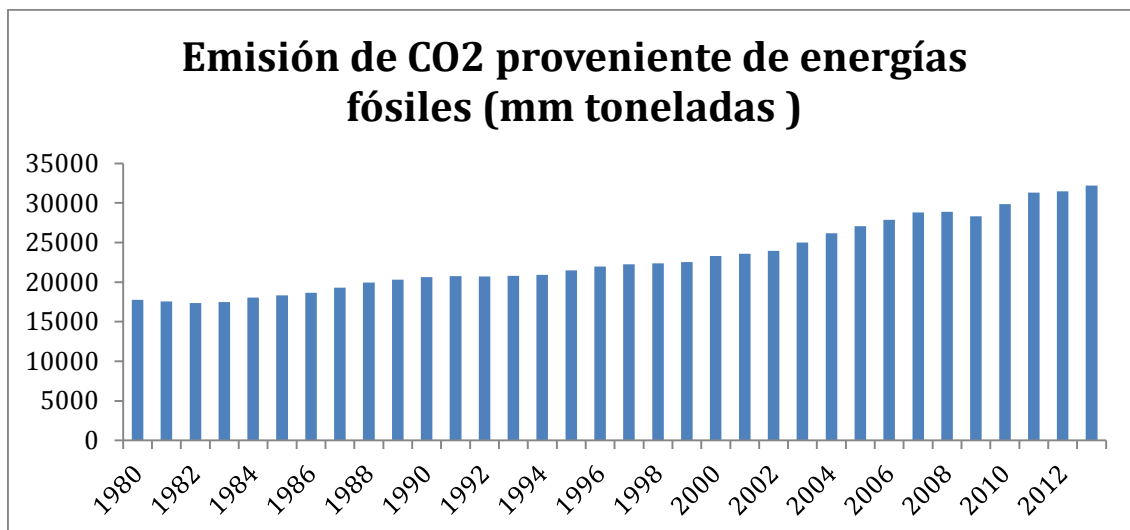


Fuente: The economist

No solo la demanda de energía ha incrementado considerablemente en el pasado, sino que también se espera que para el futuro esta situación se mantenga. El gráfico muestra las proyecciones de consumo a futuro y su sostenido crecimiento. También se observa la gran dependencia mencionada anteriormente en el consumo energético sobre las energías fósiles.

El resultado de este uso de energías no renovables en la economía mundial fue el aumento significativo de externalidades sobre el medioambiente, principalmente a través de la emisión de dióxido de carbono (CO₂). En los últimos años se ha generado cierto consenso sobre la preocupación por el cambio climático y la contaminación del medio ambiente. Esto fue principalmente causado por el aumento en la emisión de los “Green House Gases”, y en particular del dióxido de carbono, lo cual generó una mayor concentración de gases contaminantes en la atmósfera, que es la principal causante del cambio climático que actualmente sufre nuestro planeta. Los datos muestran que durante la década 2001 – 2010, aumentaron significativamente la cantidad de inundaciones y sequías a nivel mundial y, a su vez, dicha década fue la más cálida desde el 1850 (desde que se registran los datos) con temperaturas que giraron alrededor de 0,46 grados centígrados encima de la media de las temperaturas máximas que hubo entre 1960-1990. De hecho, estudios muestran que para evitar que la temperatura mundial se incremente en más de 2°C, se calcula que es necesario reducir las emisiones de dióxido de carbono en 4% por año durante los próximos 40 años. En este sentido, investigación empírica muestra que gran parte de la emisión de CO₂ proviene de actividades relacionadas con la extracción y el uso de recursos fósiles no renovables.

Fig 2: Emisión de dióxido de carbono proveniente de energías fósiles



Fuente: International Energy Agency

Conforme se espera que la demanda global de energía aumente considerablemente en los próximos años, el debate en torno a las fuentes que se utilizan para cubrir dicha demanda ha tomado gran relevancia. La preocupación de los países sobre el nocivo efecto que produce el abastecimiento de energía vía fuentes fósiles ha resultado en la búsqueda de un principal sustituto.

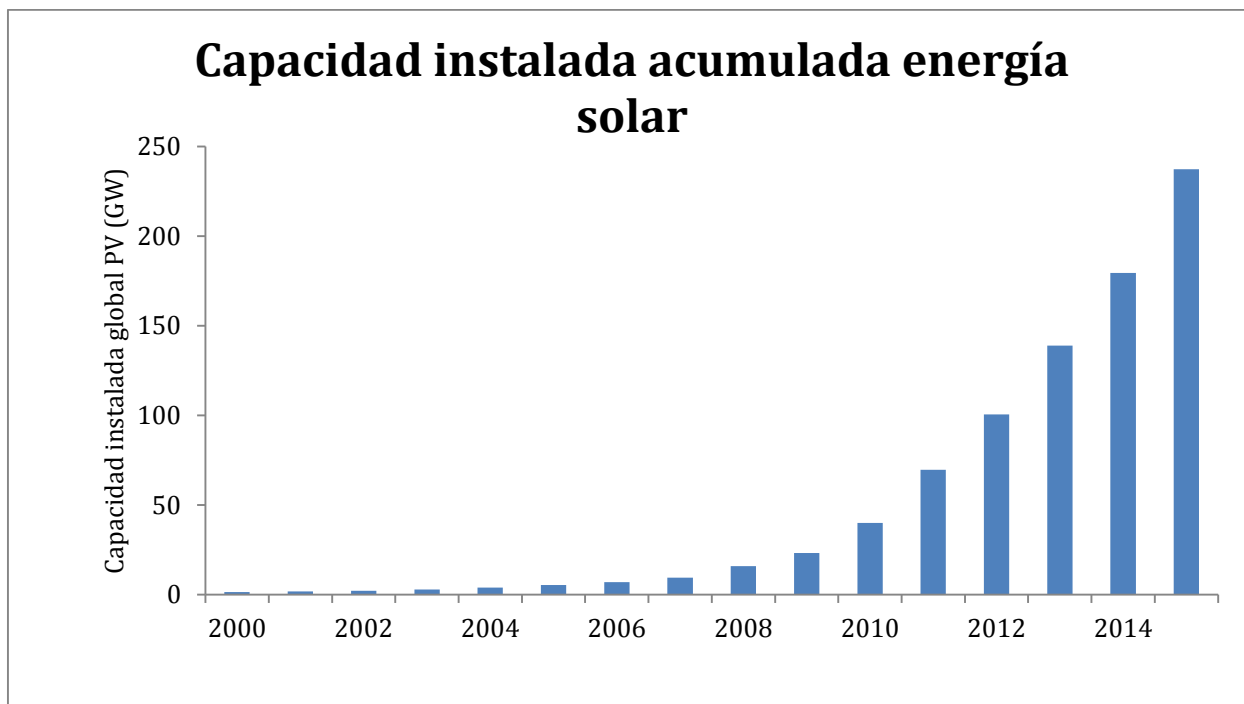
En este sentido, el mayor sustituto para las energías fósiles son las energías renovables, en particular la solar, eólica, hidráulica, geotérmica y biomasa. Otra fuente también incluye a la nuclear, pero catástrofes como la de Fukushima (sucedida en Japón durante el año 2011) ha demostrado que el uso de esta energía también está asociado con un gran riesgo medioambiental. Gran parte de los países se comprometieron a impulsar el desarrollo de estas energías limpias, pretendiendo reemplazar gradualmente los combustibles fósiles y las externalidades que estas mismas generan sobre el medio ambiente en el largo plazo. Un sector energético renovable más desarrollado junto a la concientización sobre el uso de bienes y servicios que requieran de combustibles fósiles parecen ser la solución más prometedora en relación a la reducción de emisión de CO2 y el efecto del calentamiento global. Y a su vez, otro de los grandes beneficios que tiene el desarrollo de la energía renovable es la independencia energética que esto generaría sobre el limitado número de recursos de energía fósil.

Como resultado de lo descrito anteriormente se generaron muchas campañas y movimiento sociales con el objetivo de un mayor público conocimiento acerca del sistema energético y de la mayor concientización global acerca de los factores nocivos de la dependencia energética sobre fuentes no renovables. En los últimos años esto ha generado un gran impacto en la sociedad y ha producido un cierto desarrollo más acelerado en las energías renovables. Algunos ejemplos de esto son las mayores inversiones públicas en sectores energéticos no contaminantes, tratados internacionales ambientales y mayores restricciones a las actividades de extracción de energías fósiles.

El mayor desarrollo de energías verdes se ha vuelto una prioridad en muchas de las agendas no solo de los principales gobiernos sino también de las personas, quienes en la busca de un medioambiente más saludable para el futuro han cambiado su modo de utilización de la energía. Los principales cambios se han concentrado en algunos de los países más desarrollados, quienes ante una mayor concientización han logrado tener objetivos de emisión de gases menores para los futuros años. Para lograr en el futuro una mayor participación de energías renovables en la matriz energética, las políticas públicas han tratado de aumentar la eficiencia energética especialmente en el sector verde.

Como resultado, son muchos los sectores energéticos no contaminantes que han logrado un aumento grande en su capacidad instalada en los últimos años. Un ejemplo es la energía solar:

Fig 3: Energía Solar: Capacidad Instalada Acumulada

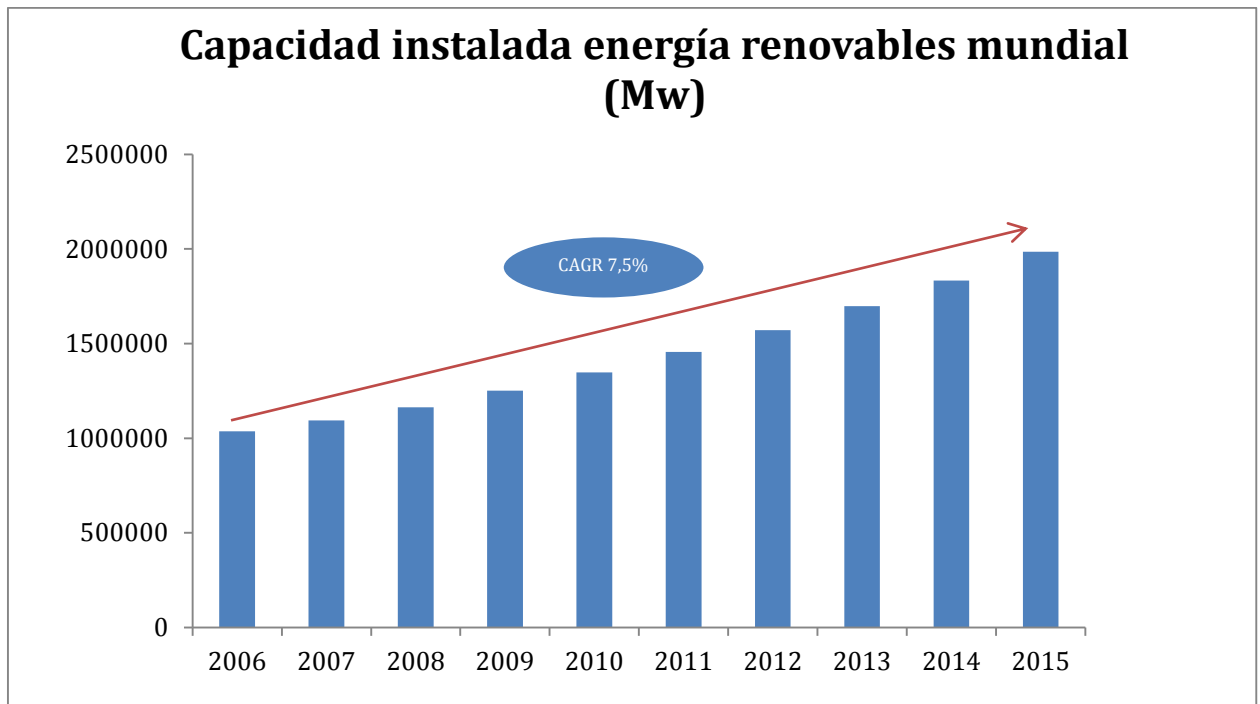


Fuente (2000-2013); Global Market Outlook for Photovoltaics 2014-2018.

Fuente (2014-2015); Global Market Outlook for Solar Power 2015-2019

Por otro lado, la clara tendencia hacia el desarrollo del sector de energía renovable, también se puede observar en el siguiente gráfico, el cual refleja el aumento de la capacidad instalada de todas las energías renovables a nivel global, alcanzando un 8,3% de crecimiento record en el último año:

Fig 4: Energías Renovables: Capacidad Instalada



Fuente: IRENA, *Renewable Capacity Statistics*, 2016.

Es importante también destacar que no solo la capacidad instalada ha aumentado sino que también la matriz energética mundial muestra una mejoría en la distribución de la energía en términos de renovables contra no renovables. Si bien todavía en términos mundiales este aumento no es significativo, son muchos los países que han logrado un gran desarrollo en este aspecto, demostrando que el cambio puede lograrse en el mediano plazo.

El uso de energías fósiles puede ser considerado por muchos como nocivas y por otros como necesarias, pero es importante nuevamente remarcar que estos recursos son finitos y que en algún momento se va a tener que dar este cambio hacia un sector energético no dependiente de las mismas. La sociedad en su conjunto se encuentra ante la problemática acerca de cómo lograr la transición de la mejor manera posible. En este sentido, el rol tanto de las políticas públicas como del sector privado va a ser clave en los próximos años.

Como resultado de la situación energética descrita anteriormente, el trabajo se centra en cómo va a ser la transición hacia el desarrollo de las energías renovables y cómo lograr que las mismas comiencen a tener una participación más importante

en el share de producción energética. Creemos que centrarse en el largo plazo, en donde solo se pueda producir energías verdes, no tiene demasiada relevancia, puesto que el resultado es predecible, existiendo inevitablemente una dependencia a las fuentes de energías verdes. Además debemos considerar que para el momento donde sea imposible contar con energías fósiles, la externalidad puede haber llevado a un costo muy alto e irreversible, lo cual hace más fundamental aún este análisis. Es por esto que enfocamos nuestro trabajo a lo que creemos que va a ser más importante; el camino que se toma hacia este estado estacionario en el futuro.

Con el fin de ser más específicos, en el caso de las firmas, el análisis va a estar enfocado en cuáles son los incentivos a desarrollar ambos tipos de energía, en particular a través de identificar cuál produce mayores retornos a la inversión. Esta sección busca principalmente responder la problemática acerca de si las firmas tienen por si solos incentivos necesarios para acelerar la transición de un sector a otro.

En el caso del análisis de las políticas públicas, nuestro principal enfoque va a ser en la externalidad que produce la extracción de energías fósiles sobre el medioambiente, causado por la emisión de gases de efecto invernadero. Luego analizaremos el comportamiento óptimo para llegar hacia un futuro en donde solo se puedan usar energías renovables. Para este caso evaluamos las diferentes políticas fiscales posibles, y cuál sería la óptima.

El trabajo se estructura de la siguiente manera:

En primer lugar, se analiza cómo se comporta hoy en día la industria y en particular las firmas.

En la sección 2 se muestran los datos de inversión de los diferentes sectores de la industria energética (renovable y no renovable) y se analizan las implicancias de los resultados empíricos.

Una vez obtenidos los resultados, en la sección 3 se presenta el modelo, el mismo toma los estudios de los trabajos realizados por *Alfred Greiner, Lars Grüne y Will*

Semmler (2013) y de *Jacobson y Delucchi (2011)*. El modelo cual busca explicar el porqué del comportamiento actual de la industria, y cómo la externalidad no captada por las firmas tiene como resultado una falta en los incentivos necesarios para llegar al óptimo social. El modelo logra llegar a este resultado analizando las diferencias entre un modelo con y sin planificador central. A su vez, también analiza cómo dependen las variables de la externalidad y cuál, finalmente, resultaría ser la política fiscal más adecuada para resolver este problema.

Por último, en la sección 4 se presenta la conclusión, la misma consta de un breve resumen acerca de los temas discutidos en la sección 2 y 3 y cuáles son las implicancias obtenidas.

Si bien puede resultar contraintuitivo el orden de la sección 2 y 3, es importante para el análisis del trabajo destacar en primer lugar cómo es el actual comportamiento e incentivos que tiene el sector privado como resultado de no poder captar los efectos de su emisión de gases; para luego poder desarrollar el modelo económico.

2. Datos empíricos

2.1 Metodología estadística.

Para el análisis de este ejercicio empírico se utilizaron datos de 14 países entre 2003-2014. Igualmente, como consideramos que el R&D tiene efectos sobre la producción futura, los datos de R&D utilizados son de 2003-2013. Elegimos las mismas fechas para las tasas de interés de cada país ya que asumimos que para poder surtir efecto en la capacidad de invertir en R&D tienen que estar analizadas en el mismo tiempo. Los datos de producción y reservas son utilizados del 2005-2014, exceptuando cuando medimos emisión de carbono donde utilizamos hasta 2013, por ende, la emisión de carbono relacionada con su producción contiene datos de 2004-2013. Todos los datos utilizados fueron extraídos de la página de la International Energy Agency.

En todas las regresiones corridas contamos con 140 observaciones distribuidas idénticamente en 14 grupos y en 10 años. Al contar con datos de panel, debemos elegir si la regresión más consistente es con el modelo de efectos fijos o el modelo de efectos aleatorios. Para esto condujimos un test de Hausman para el cual obtuvimos un P-valor=0. Por ende, rechazamos la hipótesis nula que dice que la diferencia en los coeficientes no es sistemática y utilizamos el Fixed-Effects model. Cabe aclarar que es útil utilizar esta regresión para poder obtener la relación entre las variables dependientes e independientes pudiendo controlar por efectos de los distintos países que se mantienen invariantes en el tiempo. También agregamos variables dummy para cada uno de los años para controlar por tendencias en el tiempo y poder analizar pura y exclusivamente el impacto primario que tiene cada variable.

En cuanto a las regresiones realizadas, debemos hacer algunos comentarios. Primero evaluamos si R&D tiene un efecto lineal o no en la producción incluyendo en la regresión $R\&D_t^2$. Luego de esto, vemos la relación solamente del R&D contra la producción. Finalmente, agregamos variables de control que ayudan a explicar mejor el comportamiento, y ayuden a ganar significatividad a los regresores. Los controles que utilizamos son reservas de gas natural y petróleo, ya que nos permitirán ver si tenerlos conlleva a una mayor producción de fósiles, o si tienen efecto negativo en la producción de renovables. Además, agregamos la tasa de interés, ya que esta debería tener un efecto en R&D, y es importante controlar este efecto no observable. Un último comentario es destacar que la regresión realizada en base al efecto de la producción de energías fósiles en la emisión de CO2 se hizo en términos logarítmicos para poder medir el impacto porcentual que tiene una variable sobre la otra. Las 3 regresiones mencionadas quedarían de la siguiente manera:

- 1) $y = \alpha + \beta x + \gamma x^2 + \varepsilon$
- 2) $y = \alpha + \beta x + \gamma x^2 + \delta o + \eta g + \theta r + \varepsilon$
- 3) $\ln(CO2) = \alpha + \kappa \ln(y) + \varepsilon$

En las primeras dos ecuaciones los coeficientes más relevantes son β e γ , en la tercera el coeficiente que buscamos es κ .

Algunas aclaraciones hay que hacer en cuanto a las variables. En primer lugar, los datos utilizados de R&D y de la tasa de interés son el promedio de cada una en los 2 años previos a la medición. Es decir, $(t-1 + t-2)/2$. Consideramos que de esta manera estamos capturando el efecto de R&D sobre la producción. Segundo, utilizamos los datos de consumo de las distintas energías. Suponemos que los mercados se vacían y por ende igualamos estos datos a producción energética ya que la mayoría de la producción de energía es para consumo doméstico en términos generales. Por último, las unidades de medición de las variables son como siguen: Producción está medida en KTOE (Tonelada equivalente de petróleo), El R&D está medido en millones de dólares a precios de 2014 y manteniendo PPP, las reservas de crudo están medidas en miles de millones de barriles, las de gas natural en billones de pies cúbicos, la tasa de interés en porcentaje y la emisión en millones de toneladas de CO₂.

2.2 Resultados

Antes de comenzar con el análisis de los datos incluimos un supuesto a nuestro modelo en pos de simplificar los cálculos. Asumimos que las distintas energías pueden ser consideradas como sustitutos perfectos. Si bien sabemos que en un cien por ciento no se cumple esto, el hecho de que todavía la producción de renovable sea tan pequeña hace que haya una cantidad de sustitución muy grande en la actualidad.

El objetivo de esta parte del trabajo es analizar cuál es la situación actual de los distintos sectores energéticos, dividiéndolos en dos grandes grupos (renovables y no renovables).

En un primer momento uno pensaría que, en las energías renovables, por tratarse de una industria más nueva y menos desarrollada, la inversión en R&D sería más eficiente que lo que podría ser en fósiles. Sin embargo, cuando vamos a los datos

observamos que la inversión en investigación y desarrollo en fósiles continúa siendo, al día de hoy, más eficiente que en energías renovables.

Variable independiente: TotalProduccionnoRenovable (KTOE)		
	(1)	(2)
PromedioInvFosil (USD MM)	-10.85786 (47.03194)	114.0963** (43.00257)
InvFosilPromedio2 (USD MM)	-0.0066902 (0.0190264)	-0.0395067* (0.015609)
CrudeOilProvedResrvesBllio (Miles de mill de barriles)		6113.204* (1629.834)
TotalProvedReservesOfNatural (Billones de pies cúbicos)		-1484.341** (144.3622)
TasaIntProm (%)		4584.738** (1975.946)
_cons	241189.4* (3780.771)	170805.7* (28052.77)
Fixed Effects	Si	Si
Time Effects	Si	Si

*Estadísticamente significativo al 5%

**Estadísticamente significativo al 1%

Cuando analizamos lo que ocurre con la producción de energías no renovables respecto únicamente a la inversión en R&D de no renovables observamos que el resultado no es estadísticamente significativo, en cambio si utilizamos las variables de control reservas de crudo, reservas de gas natural y tasa de interés promedio, es ahí donde la inversión en R&D se transforma en estadísticamente significativa y positiva, mientras que es negativa con respecto a la inversión al cuadrado. Hay varias intuiciones para poder sacar de aquí. En primer lugar, al agregar la tasa de interés promedio como variable sobre la inversión en R&D, se puede aislar el efecto

de esta última y de esa forma observar su impacto en la producción dado que se debe pedir prestado dinero para poder realizar esta inversión. En segundo lugar, observamos que el efecto del R&D en la producción es cóncavo, lo que quiere decir que, eventualmente, una tasa muy alta de inversión sería contraproducente y que el R&D presenta rendimientos marginales decrecientes. En tercer lugar, analizamos los efectos de las variables de control. La tasa de interés tiene un efecto contraintuitivo ya que, al ser más alta, y por ende que sea más caro pedir prestado, también aumenta la producción de la energía. Esto puede deberse a 2 razones. Puede deberse a que al volverse más caro pedir prestado e invertir, se recurre a la energía más barata para invertir (energías fósiles). Por otro lado, puede ser también la tendencia de baja de consumo de energías fósiles que se presenta en el mundo dándose al mismo tiempo que una baja en la tasa. Las reservas de gas natural también presentan un efecto contraintuitivo ya que a mayor reserva menor consumo. Este dato presenta una distorsión puesto que, en el periodo analizado, Estados Unidos tuvo un hallazgo muy fuerte de reservas y también una fuerte inversión hacia las energías renovables. Cuando se saca a EEUU de la regresión, el efecto de las reservas de gas comienza a causar un efecto positivo en la producción de energías fósiles. Por último, observamos que las reservas de crudo presentan el efecto esperado, es decir, a mayores reservas, mayor consumo.

Variable independiente: TotalProduccionRenovable (KTOE)		
	(1)	(2)
PromedioInvGreen (USD MM)	46.91581** (4.855283)	39.25019* (4.699947)
InvGreenPromedio2 (USD MM)	-0.0142964** (0.0023825)	-0.0116247* (0.0019658)
CrudeOilProvedReservesBllio (Miles de mill de barriles)		919.9735** (122.2216)
TotalProvedReservesOfNatural (Billones de pies cúbicos)		-22.89823 (21.98681)
TasaIntProm (%)		248.3148 (243.4659)
_cons	16714.78** (567.2757)	2299.159 (1937.522)
Fixed Effects	Si	Si
Time Effects	Si	Si

*Estadísticamente significativo al 5%

**Estadísticamente significativo al 1%

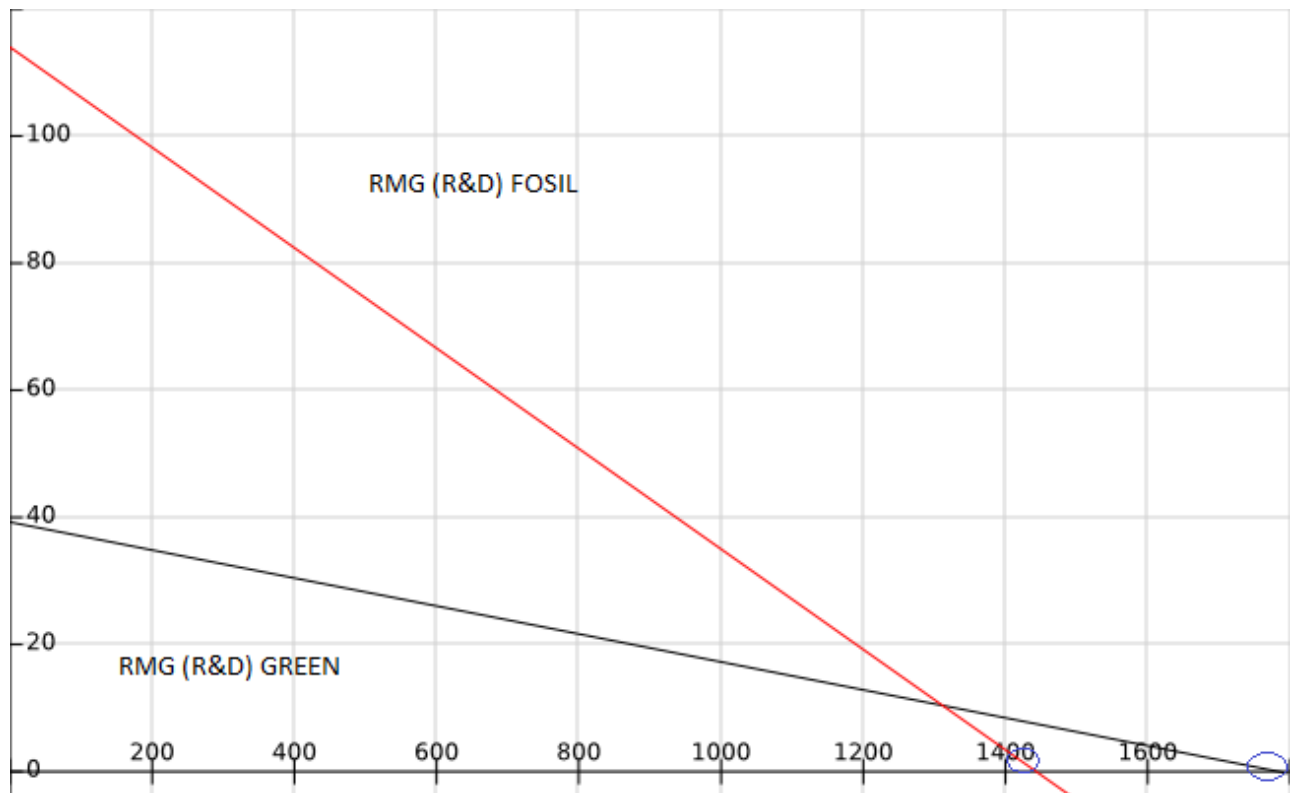
La primera regresión nos muestra que la producción de energía renovable depende positivamente del promedio de la inversión en R&D en este mismo tipo de energía, mientras que lo hace negativamente con respecto a la inversión al cuadrado. Esto nos demuestra la concavidad del modelo que genera un menor aumento de la producción a medida que el R&D se va haciendo más grande.

La segunda regresión respecto a la producción de renovables es similar solo que se le agregan las variables reservas de petróleo, reservas de gas natural y tasa de interés como variables de control. Los resultados a los que se llegan son similares, dado que la correlación existente entre el R&D y la producción de renovables es

positiva, pero negativa con el R&D al cuadrado. Las reservas de gas natural no son estadísticamente significativas respecto a la producción de energías renovables, al igual que la tasa de interés internacional. En cambio, las reservas de petróleo tienen una correlación positiva con respecto a la producción de renovables. Nuevamente esto se presenta contraintuitivo, pero puede haber varias explicaciones. Por un lado, se pueden haber descubierto varias reservas sin haberse utilizado efectivamente. También puede deberse a que una energía renovable (Waste) se produce a partir de la energía desprendida del petróleo, llevando a que ambas crezcan juntos.

Cuando comparamos ambas regresiones podemos sacar algunas conclusiones interesantes. Si bien ambas energías tienen un rendimiento positivo pero decreciente con respecto a la inversión, las energías renovables tienen una caída de la productividad más lenta que las fósiles. En cambio, las energías no renovables, en un primer momento, son más apetecibles a la inversión privada dado que el R&D genera mayor producción.

Otra cosa muy interesante cuando miramos las variables dummy, es que a medida que pasan los años hay evidencia muy clara de que la producción de energía renovable está aumentando, mientras que la producción de las fósiles viene disminuyendo. Esto estaría implicando que una transición hacia una matriz energética más diversificada ya ha comenzado, si bien no a la velocidad que se esperaría.



Aquí presentamos un gráfico que compara los rendimientos marginales de ambas energías (manteniendo fijas las variables de control de la regresión (2)). La línea roja es el RMG para las energías fósiles y la línea negra para las renovables. En el eje vertical tenemos la producción marginal de energía y en el horizontal R&D. Por consiguiente, lo que este gráfico nos está mostrando es que los primeros dólares de inversión en fósiles son más productivos que los de las energías renovables. Sin embargo, dado que las pendientes son diferentes, a medida que la inversión en R&D va aumentando, la productividad marginal de las energías verdes se acerca a la de las fósiles. Los círculos azules representan la inversión promedio durante los años analizados para cada una de las energías. Lo que vemos aquí es que ambas se encuentran bastante cerca de un rendimiento marginal cero. Viendo este gráfico podemos observar que a un determinado punto de inversión la energía fósil ya comienza a ser menos productivas que la energía renovable obligando a una inserción en el mercado de ella. Si se sigue esta tendencia puede tardar mucho tiempo hasta que la energía renovable sea una parte importante del mercado, es por esto que debemos pensar en la posibilidad de los gobiernos de intervenir en los

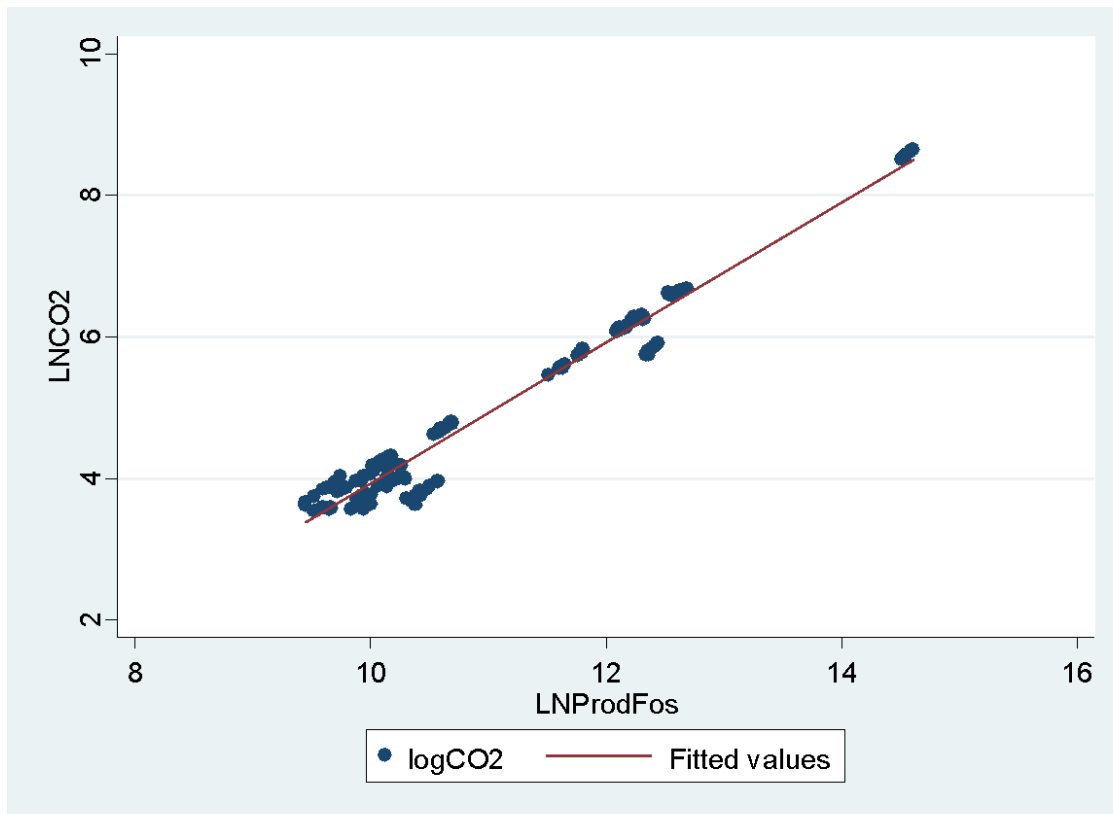
mercados. Esta intervención se presenta como una necesidad si evaluamos las externalidades negativas que presenta la utilización de energías fósiles y la lenta inserción de las verdes en el mercado.

A continuación, analizamos la externalidad principal, la emisión del CO2:

Variable independiente: LogEmisiones (Mill de toneladas de CO2)	
	(3)
LogProdFos (USD MM)	0.4737245** (0.0633834)
_cons	-0.1593925 (0.711235)
Fixed Effects	Si
Time Effects	Si

***Estadísticamente significativo al 1%*

Aquí regresamos el logaritmo de la producción de energía fósil contra el logaritmo de la emisión de dióxido de carbono y observamos que existe una fuerte relación causal. Cuando aumenta la producción de energía no renovable en un 1% la emisión de gases de efecto invernadero crece un 0.47%. Si entendemos lo perjudicial que pueden ser estas emisiones, entenderemos el costo que tienen las energías fósiles para la sociedad. En el gráfico vemos la tendencia que sigue esta regresión.



3. El Modelo

La producción total de energía surge de la suma de energía producida por un sector de energía renovable, E_R , y un sector de energía fósiles, E_F . Las funciones de producción para cada sector son las siguientes:

$$E_R(t) = A_R \cdot K(t) \quad (1)$$

$$E_F(t) = A_F \cdot u(t) \quad (2)$$

donde $u(t)$ es la cantidad de combustibles fósiles utilizados al tiempo t para generar energía, $K(t)$ es el stock de capital que produce energía a partir de recursos renovables, y $A_{R,F}$ es un índice de eficiencia para cada sector.

Como dijimos, el total de energía consiste en la suma de los dos sectores:

$$E = E_R + E_F$$

La función de producción del bien final es la siguiente:

$$Y = AE^\alpha = A(A_R K + A_F u)^\alpha \quad (3)$$

con $0 < \alpha \leq 1, A > 0$. Notar que la energía es un bien homogéneo, por lo que vamos a asumir que ambos tipos son sustitutos perfectos.

El stock de combustibles fósiles evoluciona de acuerdo a la siguiente ley de movimiento:

$$\dot{P} = -u, \quad P(0) = P_0 \quad (4)$$

Por su parte, la ley de acumulación de capital se describe de la siguiente manera:

$$\dot{K} = Y - C - a \cdot u - \delta K, \quad K(0) = K_0 \quad (5)$$

donde C es el consumo, $a > 0$ es el costo de extracción de una unidad de recursos fósiles y δ es la tasa de depreciación del capital.

El uso de combustibles fósiles lleva a un incremento en la emisión de greenhouse gases, M , por encima de su nivel pre-industrial, al que llamaremos M_I . En particular, la emisión de GHGs evoluciona acorde a la siguiente función:

$$\dot{M} = \beta_1 u - \mu(M - kM_I), \quad M(0) = M_0 > M_I \quad (6)$$

donde $\mu \in (0,1)$ es la inversa de la vida atmosférica de los GHGs y $\beta_1 \in (0,1)$ es la parte de los GHGs que no es absorbida por los océanos. El parámetro $k > 1$ explica el hecho de que la estabilización de los GHGs es solo posible a valores que excedan el nivel pre-industrial, M_I .

Es importante aclarar que u es la única parte de las emisiones que puede controlar el planificador. De hecho, aun cuando $u = 0$, la concentración de GHGs puede aumentar si $M < kM_I$. Concretamente, podríamos pensar a u como las emisiones producidas por plantas de combustibles fósiles para generar energía eléctrica, mientras que las emisiones generadas por el tráfico también contribuyen al calentamiento global, pero están fuera del alcance del planificador.

Nuestra economía está conformada por un continuo de agentes, cuyas preferencias se pueden describir mediante un individuo representativo:

$$U = \frac{C^{1-\sigma}(M - M_I)^{-\varepsilon(1-\sigma)} - 1}{1 - \sigma} \quad (7)$$

El parámetro $1/\sigma > 0$ denota la elasticidad de sustitución intertemporal entre dos puntos en el tiempo y $\varepsilon > 0$ explica la desutilidad de los GHGs cuando exceden el nivel pre-industrial.

Para analizar el efecto de los GHGs en la utilidad marginal del consumo, tomamos la derivada cruzada de la función de utilidad:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial C \partial M} = -\varepsilon(1 - \sigma)C^{-\sigma}(M - M_I)^{-\varepsilon(1-\sigma)-1} > (<)0 \leftrightarrow \frac{1}{\sigma} < (>)1 \quad (8)$$

Esta ecuación nos dice que, cuando la elasticidad de sustitución intertemporal es mayor a uno, la utilidad marginal del consumo cae cuando aumentan los GHGs. Se podría decir que, en este caso, el consumo y el cuidado del medio ambiente son

complementarios; lo que implica que la utilidad marginal del consumo será mayor cuanto más limpio se encuentre el medio ambiente.

Por su parte, cuando la elasticidad de sustitución intertemporal es menor a uno, el efecto negativo de una unidad adicional de GHG es menor que el efecto positivo de un aumento del consumo en el margen. Es decir, podrían ser considerados sustitutos, dado que la desutilidad marginal de la contaminación cae ante un aumento en el nivel de consumo.

3.1 Planificador Central

En esta sección vamos a plantear el problema para un planificador central que considera la acumulación de GHGs. De manera que tenemos el siguiente problema de optimización:

El planificador debe elegir $\{C, u\}_{t=0}^{\infty}$ tal que maximice

$$\int_0^{\infty} e^{-\rho t} \left(\frac{C^{1-\sigma} (M - M_I)^{-\varepsilon(1-\sigma)} - 1}{1 - \sigma} \right) dt$$

sujeto a:

$$E_R = A_R \cdot K$$

$$E_F = A_F \cdot u$$

$$Y = AE^{\alpha} = A(A_R K + A_F u)^{\alpha}$$

$$\dot{K} = Y - C - a \cdot u - \delta K$$

$$\dot{P} = -u$$

$$\dot{M} = \beta_1 u - \mu(M - kM_I)$$

$$P(0) = P_0, \quad K(0) = K_0, \quad M(0) = M_0 > M_I \quad \text{dados}$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e^{-\rho t} K(t) \geq 0, \quad \lim_{t \rightarrow \infty} P(t) \geq 0, \quad \lim_{t \rightarrow \infty} M(t) \geq M_I$$

3.2 Condiciones de Optimalidad

Para hallar la solución óptima planteamos el Hamiltoniano correspondiente:

$$H(\cdot) = \frac{(C^{1-\sigma}(M - M_I)^{-\varepsilon(1-\sigma)} - 1)}{1 - \sigma} + \lambda_1(A(A_F u + A_R K)^\alpha - C - a u - \delta K) \\ + \lambda_2(-u) + \lambda_3(\beta_1 u - \mu(M - kM_I))$$

donde λ_i , $i = 1,2,3$ son los multiplicadores (y precios sombra) asociados al capital, los recursos fósiles, y los GHGs, respectivamente. Las condiciones de optimalidad son:

$$\frac{\partial H(\cdot)}{\partial C} = 0 \leftrightarrow C = \lambda_1^{-1/\sigma} (M - M_I)^{-\varepsilon(1-\sigma)/\sigma} \quad (9)$$

$$\frac{\partial H(\cdot)}{\partial u} = 0 \leftrightarrow u = \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_3 \beta_1 + a \lambda_1} \right)^{1/(1-\alpha)} A_F^{\alpha/(1-\alpha)} (A \alpha)^{1/(1-\alpha)} - \frac{A_R K}{A_F} \quad (10)$$

$$\dot{\lambda}_1 = \rho \lambda_1 - \frac{\partial H(\cdot)}{\partial K} \leftrightarrow \dot{\lambda}_1 = (\rho + \delta) \lambda_1 - \lambda_1 \alpha A A_R (A_R K + A_F u)^{\alpha-1} \quad (11)$$

$$\dot{\lambda}_2 = \rho \lambda_2 - \frac{\partial H(\cdot)}{\partial P} \leftrightarrow \dot{\lambda}_2 = \rho \lambda_2 \quad (12)$$

$$\dot{\lambda}_3 = \rho\lambda_3 - \frac{\partial H(\cdot)}{\partial M} \leftrightarrow \dot{\lambda}_3 = (\rho + \mu)\lambda_3 + \varepsilon(M - M_I)^{-\varepsilon(1-\sigma)-1} C^{1-\sigma} \quad (13)$$

La ecuación (12) muestra que el precio sombra de los recursos fósiles evoluciona exponencialmente a tasa ρ , $\lambda_2(t) = \lambda_2(0) \cdot e^{\rho t}$. El precio sombra del capital, λ_1 , es positivo; mientras que el de los GHGs, λ_3 , es negativo dado que los niveles de emisión por encima del nivel pre-industrial generan pérdidas de bienestar.

La tasa de extracción de los recursos fósiles, u , será positiva solo si el producto marginal de u en la producción de energía supera su costo, que consiste en el costo unitario de extracción, a , sumado a su precio relativo respecto al capital:

$(\lambda_2 - \lambda_3\beta_1)/\lambda_1$. Es importante notar que el precio de este recurso es su precio sombra, λ_2 , sumado al precio efectivo de los GHGs, $-\lambda_3\beta_1$, dado que solo una porción $\beta_1 \in (0,1)$ de las emisiones entran en la atmósfera.

Notar, a su vez, que el producto marginal de u está acotado:

$$\frac{\partial Y}{\partial u} = A \alpha A_F (A_R K)^{\alpha-1} < \infty \quad \text{para } u = 0 \quad \text{y } K > 0$$

Esto demuestra que un alto stock de capital, K , y un valor bajo de A_F , tienden a reducir la tasa de extracción de los recursos fósiles. En el caso extremo de $A_F = 0$, el producto marginal de u desaparece y solo quedan los costos asociados a su extracción. Esto implica que para un valor de A_F suficientemente bajo, los recursos fósiles no van a ser extraídos y el agente representativo va a utilizar únicamente energía renovable.

Por otro lado, si el costo de invertir en el stock de capital para generar energía renovable es alto, puede haber un periodo en el cual la inversión sea nula y solo los combustibles fósiles sean utilizados. Esto ocurriría en el caso en que el costo de extracción de los fósiles es bajo relativo al costo de inversión en energías renovables.

De la ecuación (9) podemos derivar la tasa de crecimiento del consumo:

$$\frac{\dot{C}}{C} = -\frac{1}{\sigma} \frac{\dot{\lambda}_1}{\lambda_1} - \varepsilon \frac{1 - \sigma}{\sigma} \frac{\dot{M}}{M - M_I} \quad (14)$$

De aquí podemos concluir que, en la transición, la tasa de crecimiento del consumo es mayor en el caso en que el consumo y los efectos de GHGs son sustitutos, es decir, cuando $1/\sigma < 1$, para una tasa de crecimiento dada del precio sombra del capital. Esto se explica porque el planificador va a elegir poner un mayor peso sobre el consumo cuando los GHGs aumentan, dado que el efecto negativo que estos generan pueden ser aliviados por un mayor consumo. En el caso en que el consumo y la contaminación son complementarios, ocurre lo opuesto: el incremento marginal en bienestar proveniente del consumo será mayor cuanto menor sea la concentración de GHGs en la atmosfera; por lo que el planificador le dará un menor peso al consumo.

3.3 Solución sin intervención y política fiscal óptima

Hasta aquí hemos analizado el caso en que un planificador central elige el consumo y la tasa de extracción óptimo teniendo en cuenta la concentración de GHGs que esto último genera. En esta sección, el agente no internaliza el efecto sobre el medio ambiente, a menos que el gobierno imponga los incentivos para que lo haga.

3.4 Solución sin intervención

El agente privado enfrenta el siguiente problema de optimización:

Debe elegir $\{C, u\}_{t=0}^{\infty}$ tal que maximice

$$\int_0^{\infty} e^{-\rho t} \left(\frac{C^{1-\sigma} (M - M_I)^{-\varepsilon(1-\sigma)} - 1}{1 - \sigma} \right) dt$$

sujeto a:

$$E_R = A_R \cdot K$$

$$E_F = A_F \cdot u$$

$$Y = AE^\alpha = A(A_R K + A_F u)^\alpha$$

$$\dot{K} = Y - C - au - \delta K - \tau u - \Gamma$$

$$\dot{P} = -u$$

$$K(0) = K_0, \quad M(0) = M_0 > M_I \quad \text{dados}$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e^{-\rho t} K(t) \geq 0, \quad \lim_{t \rightarrow \infty} M(t) \geq M_I$$

Antes de pasar a las condiciones de optimalidad, es necesario aclarar algunas cuestiones. En primer lugar, asumimos que la tasa de descuento intertemporal, ρ , es la misma tanto para el planificador como para el agente privado. Por otra parte, en este caso incorporamos algunas variables que nos serán útiles a continuación. Vamos a asumir que el gobierno impone un impuesto $\tau > 0$ por unidad de extracción del recurso fósil, como también un impuesto de suma fija, Γ , que puede ser tanto positivo como negativo, en cuyo caso se trataría de una transferencia del gobierno a las familias.

El Hamiltoniano queda expresado de la siguiente manera:

$$H(\cdot) = \frac{(C^{1-\sigma} (M - M_I)^{-\varepsilon(1-\sigma)} - 1)}{1 - \sigma} + \gamma_1 (A(A_F u + A_R K)^\alpha - C - (a + \tau)u - \delta K - \Gamma) + \gamma_2 (-u)$$

donde γ_i , $i = 1,2$ son los multiplicadores (y precios sombra) asociados al capital y a los recursos fósiles, respectivamente. Las condiciones de optimalidad son:

$$\frac{\partial H(\cdot)}{\partial C} = 0 \leftrightarrow C = \gamma_1^{-1/\sigma} (M - M_I)^{-\varepsilon(1-\sigma)/\sigma} \quad (15)$$

$$\frac{\partial H(\cdot)}{\partial u} = 0 \leftrightarrow u = \left(\frac{\gamma_1}{\gamma_2 + (a + \tau)\gamma_1} \right)^{1/(1-\alpha)} (A_F^\alpha A \alpha)^{1/(1-\alpha)} - \frac{A_R K}{A_F} \quad (16)$$

$$\dot{\gamma}_1 = \rho \gamma_1 - \frac{\partial H(\cdot)}{\partial K} \leftrightarrow \dot{\gamma}_1 = (\rho + \delta)\gamma_1 - \gamma_1 \alpha A A_R (A_R K + A_F u)^{\alpha-1} \quad (17)$$

$$\dot{\gamma}_2 = \rho \gamma_2 - \frac{\partial H(\cdot)}{\partial P} \leftrightarrow \dot{\gamma}_2 = \rho \gamma_2 \quad (18)$$

En el estado estacionario, la solución privada y la del planificador coinciden dado que los recursos fósiles son finitos, lo que implica una tasa de extracción $u^* = 0$. De manera que vamos a centrar nuestra atención en la transición a dicho estado estacionario.

Como era de esperar, la solución para el planificador y para el agente privado difieren en la transición a menos que el gobierno intervenga con política fiscal. Comparando las ecuaciones (10) y (16) se puede ver que la extracción de los recursos fósiles es mayor en el caso de la solución descentralizada que aquella socialmente óptima. Esto se explica porque en el caso del planificador el costo de emitir GHGs, $-\lambda_3 \beta_1$, es tenido en cuenta mientras que en la solución privada esto no ocurre. Ahora vamos a estudiar de qué manera el gobierno puede intervenir para replicar la transición privada a aquella socialmente óptima.

3.5 Política fiscal optima

Para replicar los resultados de la economía socialmente optima en la solución descentralizada, el gobierno debe imponer la política fiscal

$\tau = \tau^*$ y $\Gamma = \Gamma^*$ tal que:

$$\tau^* = -\frac{\lambda_3\beta_1}{\lambda_1}, \quad \Gamma^* = \lambda_3\beta_1u/\lambda_1$$

Demostración:

Sabemos que la extracción del recurso fósil se debe igualar en ambos escenarios, por lo que igualando (10) con (16) se desprende el impuesto optimo $\tau^* = -\frac{\lambda_3\beta_1}{\lambda_1}$. Esta condición garantiza que la extracción de combustibles fósiles, el consumo y la concentración de GHGs coincidan en ambos casos. Por último, Γ^* debe ser fijado tal que iguale la evolución del stock de capital en ambas versiones del modelo:

$$A(A_Fu + A_RK)^\alpha - C - \left(a - \frac{\lambda_3\beta_1}{\lambda_1}\right)u - \delta K - \Gamma = A(A_Fu + A_RK)^\alpha - C - au - \delta K$$

resolviendo para Γ^* , llegamos al resultado optimo $\Gamma^* = \lambda_3\beta_1u/\lambda_1$.

Vemos que, una vez gravado el impuesto correspondiente sobre la extracción de fósiles, un subsidio adicional a la inversión al capital renovable no sería eficiente.

El subsidio optimo a la inversión en energías renovables es cero porque el producto marginal de generar este tipo de energía es el mismo para los dos casos, dado que la evolución del capital y la extracción de fósiles es la misma. Esto último se consigue imponiendo un impuesto por unidad de extracción u que consiste el precio efectivo de los GHGs, $-\lambda_3\beta_1$, sobre el precio sombra del capital, λ_1 .

Vemos que, una vez cargado este impuesto, subsidios al sector no contaminante llevaría a una sobre-inversión en energías renovables que no acompañaría la transición óptima. Por último, el impuesto de suma fija Γ es negativo, lo que implica

que la recaudación del gobierno que surge de la extracción de fósiles vuelve al sector privado en forma de transferencias. Esto asegura que la evolución del capital sea la misma en ambos casos y el presupuesto del gobierno este equilibrado.

3.6 Estática comparativa

Para ganar un poco de intuición, vamos a tomar las derivadas parciales de la variable de control u contra los principales parámetros del modelo, y luego analizaremos el impuesto óptimo que obtuvimos.

$$\frac{\partial u}{\partial A_R} = -\frac{K}{A_F} \leq 0$$

$$\frac{\partial u}{\partial A_F} = \left[\frac{\gamma_1}{\gamma_2 + (a + \tau)\gamma_1} \right]^{\frac{1}{1-\alpha}} \cdot (A\alpha)^{\frac{1}{1-\alpha}} \cdot \frac{\alpha}{1-\alpha} \cdot A_F^{\frac{2\alpha-1}{1-\alpha}} + \frac{A_R K}{A_F^2} \geq 0$$

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} = \left[\frac{\gamma_1}{\gamma_2 + (a + \tau)\gamma_1} \right]^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} \cdot (A\alpha A_F^\alpha)^{\frac{1}{1-\alpha}} \cdot \frac{1}{1-\alpha} \cdot \left[-\frac{\gamma_1^2}{(\gamma_2 + (a + \tau)\gamma_1)^2} \right] \leq 0$$

De aquí concluimos que a medida que mejora la eficiencia en el sector no contaminante, la tasa de extracción de combustibles fósiles decrece; mientras que, por el contrario, existe una relación positiva entre la extracción y la productividad en el sector contaminante. Asimismo, vemos que, a mayor impuesto aplicado por el gobierno, menores son los incentivos a extraer los recursos no renovables.

Por su parte, teníamos que:

$$\tau^* = -\frac{\lambda_3 \beta_1}{\lambda_1}$$

Tomando la derivada parcial contra β_1 obtenemos:

$$\frac{\partial \tau^*}{\partial \beta_1} = -\frac{\lambda_3}{\lambda_1} \geq 0 \text{ dado que } \lambda_3 < 0$$

En palabras, cuanto mayor es la proporción de los gases emitidos que quedan en la atmosfera, mayor deberá ser el impuesto cargado sobre la extracción ya que su externalidad aumenta.

3.7 Subsidio al sector renovable y mejora en la eficiencia

En esta sección vamos a suponer que, alternativamente, el gobierno puede optar por otorgar un subsidio al sector no contaminante, que se traduce automáticamente en una mejora en la eficiencia. En particular, vamos a suponer que el producto de las energías renovable evoluciona de la siguiente manera:

$$E_R = A_R(1 + \theta)K \quad \text{donde } \theta \in (0,1) \text{ es el subsidio del gobierno}$$

De esta manera, planteamos el problema de optimización para el agente privado:

El agente debe elegir $\{C, u\}_{t=0}^{\infty}$ tal que maximice

$$\int_0^{\infty} e^{-\rho t} \left(\frac{C^{1-\sigma} (M - M_I)^{-\varepsilon(1-\sigma)} - 1}{1 - \sigma} \right) dt$$

sujeto a:

$$E_R = A_R(1 + \theta)K$$

$$E_F = A_F \cdot u$$

$$Y = AE^{\alpha} = A(A_R(1 + \theta)K + A_F u)^{\alpha}$$

$$\dot{K} = Y - C - a \cdot u - \delta K$$

$$\dot{P} = -u$$

$$K(0) = K_0, \quad M(0) = M_0 > M_I \quad \text{dados}$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e^{-\rho t} K(t) \geq 0, \quad \lim_{t \rightarrow \infty} M(t) \geq M_I$$

El Hamiltoniano queda expresado de la siguiente manera:

$$H(\cdot) = \frac{(C^{1-\sigma}(M - M_I)^{-\varepsilon(1-\sigma)} - 1)}{1 - \sigma} + \eta_1(A(A_F u + A_R(1 + \theta)K)^\alpha - C - au - \delta K) + \eta_2(-u)$$

donde η_i , $i = 1, 2$ son los multiplicadores (y precios sombra) asociados al capital del sector renovable y a los recursos fósiles, respectivamente. Las condiciones de optimalidad son:

$$\frac{\partial H(\cdot)}{\partial C} = 0 \leftrightarrow C = \left[\frac{(M - M_I)^{-\varepsilon(1-\sigma)}}{\eta_1} \right]^{1/\sigma} \quad (19)$$

$$\frac{\partial H(\cdot)}{\partial u} = 0 \leftrightarrow u = \left(\frac{\eta_1}{\eta_2 + a\eta_1} \right)^{1/(1-\alpha)} (A_F^\alpha A^\alpha)^{1/(1-\alpha)} - \frac{A_R(1 + \theta)K}{A_F} \quad (20)$$

$$\dot{\eta}_1 = \rho\eta_1 - \frac{\partial H(\cdot)}{\partial K} \leftrightarrow \dot{\eta}_1 = (\rho + \delta)\eta_1 - \eta_1 \alpha A A_R (1 + \theta) (A_R(1 + \theta)K + A_F u)^{\alpha-1} \quad (21)$$

$$\dot{\eta}_2 = \rho\eta_2 - \frac{\partial H(\cdot)}{\partial P} \leftrightarrow \dot{\eta}_2 = \rho\eta_2 \quad (22)$$

Una vez más, vemos que cuanto mayor sea el subsidio al sector renovable, el nivel de extracción de recursos fósiles cae:

$$\frac{\partial u}{\partial \theta} = -\frac{A_R K}{A_F} \leq 0$$

de manera que esta es una política fiscal alternativa para acelerar la transición hacia una matriz energética más diversificada.

4. Conclusiones

A modo de resumen, podemos decir que las firmas no tienen los incentivos suficientes para llevar a cabo una transición óptima hacia una matriz con mayor preponderancia de energías renovables. Esto sucede porque aquellos agentes que emiten GHGs no pagan el costo total de sus acciones, es decir, solo internalizan el costo privado de estas emisiones, el cual es menor al costo social de las mismas. Por lo tanto, esto se traduce en una emisión mayor a la socialmente óptima.

Esta distorsión se puede corregir simplemente aumentando el costo de las emisiones de GHGs, en otras palabras, aplicando un impuesto correspondiente a dicha externalidad. Esto, a su vez, puede contribuir a alcanzar tres objetivos subyacentes: en primer lugar, dar una señal a los consumidores para reducir la demanda de bienes y servicios que requieran grandes emisiones para ser producidos; por otra parte, genera incentivos para sustituir insumos que requieran grandes emisiones para ser producidos por otros más 'limpios'; y finalmente, puede motivar una mayor inversión en R&D en nuevas tecnologías que generen menos GHGs. Por eso, podemos decir que el sistema de precios es una buena herramienta para transmitir esta información al mercado.

Como comentan Acemoglu, Aghion, Bursztyn y Hemous (2012), la mayor parte de las inversiones son atraídas por el sector con mayores ventajas en términos de tamaño de mercado y precios, actualmente el sector de los combustibles fósiles; a

menos que el gobierno intervenga con las políticas fiscales que mencionamos para redirigir las inversiones al sector de energías limpias.

Sin embargo, del modelo podemos concluir que aplicar el impuesto correspondiente a las emisiones y al mismo tiempo subsidiar la inversión en las energías renovables generaría una sobreinversión en este último sector que no seguiría el camino de transición óptimo planteado por el planificador central. Dicho de otra manera, se estaría compensando por demás la externalidad de las emisiones, favoreciendo la producción de energías renovables, pero sin ser económicamente eficiente.

Como sugiere Fernando Navajas, el sistema de precios es un elemento necesario, pero no suficiente para promover las energías limpias. El problema surge cuando vemos que existen muchos casos en los que no se cumple esta política fundamental. El ejemplo más claro está en Argentina: la actual medida de 'precios sostén' por encima de los precios internacionales van en contra de las premisas que planteamos anteriormente. Si bien un impuesto a la emisión de CO₂ resultaría en un mayor precio de sus derivados, en el caso de Argentina los mayores precios no corresponden con la idea de limitar la contaminación sino a subsidiar la producción en este sector, lo cual va en contra de una política pro-ambiental.

Otra controversia que puede surgir a raíz de las posibles soluciones es la dificultad de cuantificar las externalidades que generan las emisiones y, por ende, la magnitud de los impuestos necesarios para corregir los precios relativos a favor de las energías limpias. Por eso, es posible que algunos gobiernos subestimen el costo de las emisiones de CO₂, lo que haría que el impuesto que surge es menor que el óptimo y, en efecto, el nivel de extracción de recursos fósiles estaría por encima del socialmente eficiente.

De modo que, en resumen, estas cuestiones nos alertan que, a priori, las posibilidades de que ocurra un boom de energías renovables en el corto plazo parecen ser bajas. A pesar de que el primer paso sobre la concientización de los efectos y consecuencias de la emisión de GHGs ya se dio. Es hora de tomar las medidas correspondientes para suavizar el impacto que se está generando en el

medioambiente y alcanzar una solución económicamente sostenible, las teorías económicas indican que la primer medida a tomar pasaría por una política fiscal que penalice la emisión de GHGs que internalice a las firmas el costo generado por sus actividades.

Referencias:

- [1] **Alfred Greiner, Lars Grüne, Willi Semmler.** “Economic growth and the transition from non-renewable to renewable energy”. *Environment and Development Economics*, *Cambridge University Press (CUP)*, 2013, 34 p.
- [2] **Daron Acemoglu, Philippe Aghion, Leonardo Bursztyn, and David Hemous** (2012), “The Environment and Directed Technical Change”, *The American Economic Review*, Vol. 102 No. 1
- [3] **Michael Spence** (1984), “Cost Reduction, Competition, and Industry Performance” *Econometrica*, Vol. 52, No. 1
- [4] **Torstein Bye**, “On the Price and Volume Effects from Green Certificates in the Energy Market” (2003), *Statistics Norway, Research Department*, Discussion Papers No. 351.
- [5] **Galiani, Sebastian** (15 junio, 2014), “Cambio Climático: Economía y Política”, *Foco Económico*. <http://focoeconomico.org/2015/07/24/cambio-climatico-y-cambio-tecnologico-por-sebastian-galiani/> (última consulta 1 agosto 2016)
- [6] **Galiani, Sebastian** (24 julio, 2015), “Cambio climático y cambio tecnológico”, *Foco Económico*. <http://focoeconomico.org/2015/07/24/cambio-climatico-y-cambio-tecnologico-por-sebastian-galiani/> (última consulta 1 agosto 2016)
- [7] **Navajas, Fernando** (24 julio, 2016), “Nacional-populismo, energía y cambio climático en peligro”, *Foco económico*. <http://focoeconomico.org/2016/07/24/nacional-populismo-energia-y-cambio-climatico-en-peligro/> (última consulta 1 agosto 2016)
- [8] **M. Suruz Miah, N.U. Ahmed, Monjur Chowdhury** (2012), “Optimum policy for integration of renewable energy sources into the power generation system”, *Energy Economics*

[9] **Jacobson, Mark. Delucchi, Mark** “Providing all global energy with wind, water and solar power, Part I: Technologies, energy resources, quantities and areas of infrastructure and materials”, *Energy Policy*, 39 (2011)