

# CUANTIFICACIÓN PRELIMINAR DE EXTERNALIDADES DE LA PRODUCCION DE BIOETANOL DE SORGO EN URUGUAY

---

Natalia Caldés  
Yolanda Lechón  
Cristina de la Rúa  
Israel Herrera

Unidad de Análisis de Sistemas Energéticos  
Departamento de Energía  
CIEMAT

**15/06/2017**

## Tabla de contenido

1	Introducción .....	3
2	Marco teórico .....	4
	Concepto de externalidad .....	4
	Internalización de externalidades .....	5
	Competitividad y costes externos. ....	7
	Externalidades presentes en el mercado energético .....	8
3	Metodologías para cuantificar y valorar las externalidades ambientales en el sector energético.....	12
	Estado del arte.....	12
	La metodología ExternE para la valoración de las externalidades ambientales .....	14
	Metodologías para cuantificar y valorar las externalidades no ambientales .....	15
4	Valoración de externalidades .....	18
	Estimación de los efectos netos .....	18
	Valoración de externalidades medioambientales.....	19
	Valoración de externalidades socioeconómicas .....	21
	Otras externalidades .....	24
5	Conclusiones.....	30
6	Referencias .....	31

## 1 Introducción

Además de diferir en los costes privados, los distintos combustibles generan distintos efectos colaterales en el medio ambiente y la sociedad. Estos efectos colaterales no incorporados en el precio de mercado de los productos energéticos se denominan externalidades. Su presencia conlleva un fallo de mercado y, por lo tanto, resulta en un consumo energético ineficiente desde el punto de vista social.

El uso de biocarburantes como sustitutos de los combustibles fósiles en el transporte conlleva múltiples beneficios, entre los que destaca la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Asimismo, el uso de biocarburantes lleva aparejados efectos de tipo socioeconómico que deben ser considerados a la hora de evaluar de forma integral las consecuencias del uso de los biocarburantes.

Estos efectos no están incorporados al precio final de la energía, dando lugar a una externalidad que ocasiona una asignación ineficiente de los recursos por parte del mercado. Llevar a cabo un proceso de valoración de externalidades contribuye a poner en valor las ventajas del uso de biocarburantes, que de otra forma carecerían de valor y darían lugar a asignaciones ineficientes. A su vez, al expresar el efecto ambiental y socioeconómico en términos de pérdida o aumento de bienestar ya se dispone de la información en una unidad común –unidades monetarias–, pudiendo así agregar información relativa a distintos conceptos de beneficios o impactos. De esta forma es posible extraer conclusiones acerca del impacto del uso de biocarburantes y con ello, contribuir al diseño de distintas medidas de política energética.

Más allá de la variación en las emisiones de gases de efecto invernadero y los efectos socioeconómicos, el impacto derivado del uso de los biocarburantes abarca otros ámbitos como son las emisiones de contaminantes locales y regionales que pueden afectar a la calidad del aire, del agua y del suelo, el consumo de agua o los cambios de uso del suelo. El alcance de estos impactos supera los límites de este informe. Por esta razón, este informe centra su ámbito de análisis en las consecuencias del uso de los biocarburantes sobre las emisiones de gases de efecto invernadero y las consecuencias sobre la generación de empleo, y la estimulación de la economía. Adicionalmente, también se van a tener en cuenta otros efectos colaterales asociados a la penetración del bioetanol de sorgo en Uruguay como son la contribución al crecimiento del producto interior bruto, la recaudación fiscal, los efectos en la balanza de pagos, mejora de la seguridad energética y mejora de las zonas rurales (mediante la creación de empleo y estimulación económica en aquellos sectores que se desarrollan en sectores claramente rurales). Se trata de una estimación preliminar que persigue tener una

idea del orden de magnitud de los efectos externos que podría tener el uso de este bioetanol en Uruguay.

Las externalidades derivadas de la producción y uso de los biocarburantes difieren en gran medida debido a múltiples aspectos, como son: el tipo de biocarburante considerado, la materia prima utilizada, el proceso de obtención/transformación, la fase de distribución, etc. Esta es la razón que justifica llevar a cabo un proceso de valoración de externalidades asociadas al proceso de obtención del bioetanol de sorgo, sobre la base de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) riguroso del proceso industrial asociado al mismo, como el que se ha realizado. La valoración económica de los cambios en las emisiones de gases de efecto invernadero derivados de la producción y uso del bioetanol de sorgo en Uruguay tomará como punto de partida los resultados del ACV desarrollado. A su vez, la estimación de las externalidades socioeconómicas tomará como base el estudio de impactos socioeconómicos realizado en combinación con otros datos macro-económicos del país.

## **2 Marco teórico**

### **Concepto de externalidad**

Según la teoría económica, una externalidad se define como un efecto colateral de las acciones de un determinado agente económico que directamente afectan el bienestar de otro agente sin que éste se vea compensado por ello. Dicho de otra forma, se entiende por externalidad aquel coste o beneficio asociados a una actividad económica concreta que recae indiscriminadamente sobre la sociedad y el medio ambiente, no estando incluido en la estructura de precios del producto o servicio que la origina.

Es importante tener en cuenta que no todos los efectos colaterales de una actividad deben ser considerados como externalidades. Que dichos impactos sean o no una externalidad depende, en gran medida, del marco legal e institucional en el que se desarrolla la actividad económica que los produzca. Por ejemplo, si una empresa produce emisiones que generan daños a otra empresa y el marco legal exige que esos daños le sean compensados económicamente por la empresa que los produjo, entonces no nos encontramos frente a una externalidad. La empresa que contaminó tendrá que tener en cuenta la compensación a la hora de decidir si sigue generando esas emisiones y a qué nivel. Por el contrario, si la empresa que contamina no está obligada a compensar el daño y no lo tiene en cuenta en su toma de decisiones, eso constituye una externalidad (Sáez et al. 2001).

Según la teoría económica neoclásica, cuando los mercados son perfectamente eficientes, su libre funcionamiento conlleva a una asignación óptima de los recursos y a la maximización del

Como ilustra la Figura 1 según nos encontremos en presencia de externalidades positivas o negativas, la relación entre la asignación del libre mercado y la asignación óptima desde el punto de vista social, es distinta. Mientras que en presencia de externalidades positivas, la solución de mercado conlleva una producción demasiado baja del bien que genera dicha externalidad, en presencia de externalidades negativas, la solución de mercado resulta en una producción demasiado elevada del bien o servicio asociado a dicha externalidad.



Para llevar a cabo un proceso de internalización de los beneficios y costes externos (o externalidades positivas y negativas respectivamente), se deben tener en cuenta las siguientes etapas: (i) identificación de todos los efectos externos positivos y negativos originados a lo largo del ciclo de vida de producción del producto o servicio considerado (en nuestro caso, la energía producida por cada una de las tecnologías energéticas consideradas), (ii) la definición

precisa de cada uno de los efectos producidos y su ruta de impacto, (iii) la cuantificación y valoración económica de cada uno de los efectos socioeconómicos y medioambientales generados en cada etapa del ciclo, (iv) la selección del mecanismo de internalización más apropiado en cada caso aplicable al coste/beneficio externo analizado, y (v) implantación del mecanismo de internalización seleccionado.

En lo referente a los mecanismos de internalización, la Tabla 1 recoge algunos de los instrumentos o mecanismos más frecuentes en el mercado energético.

Tipo de externalidad a internalizar	Posibles mecanismos de regulación				Literatura
Externalidades negativas	Comando y control				Stuart, R. Tietenberg T. (2007)
	Mecanismos de mercado	Impuestos			Pigou, A., 1920
		Permisos de emisiones			Montero, 2003
Externalidades positivas	Mecanismos de mercado	Mecanismos de apoyo a la inversión	Ayudas directas a la inversión (a través de la compra de bienes de capital)		EC, 2008  Del Río, 2009
			Exenciones fiscales		
			Reducciones en el precio de compra de bienes y servicios		
		Mecanismos de apoyo a la operación	Mecanismos de mercado a través de la cantidad	Obligaciones o cuotas	
				Certificados verdes	
				Sistemas de subasta	
			Mecanismos de mercado a través del precio	Primas	
				Incentivos fiscales	

**Tabla 1:** Mecanismos de regulación en presencia de externalidades.

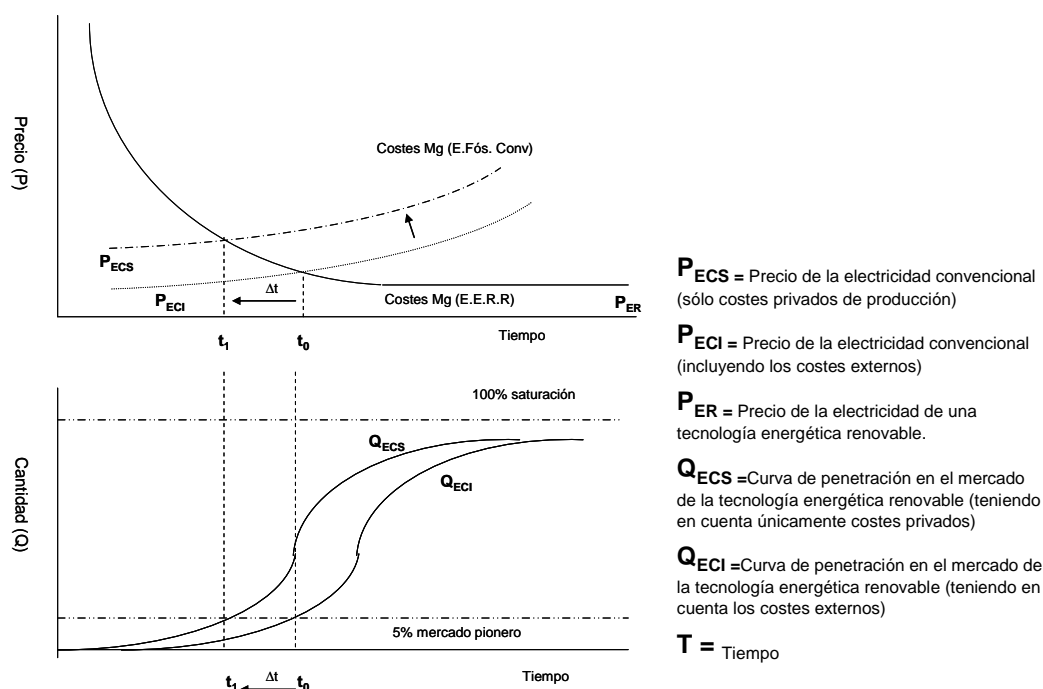
En materia energética, los mecanismos de intervención pública se pueden categorizar en dos grandes grupos: los mecanismos de comando y control (*command and control* en inglés) y los mecanismos de mercado. La diferencia fundamental entre estas dos categorías reside en que los instrumentos de comando y control tienen como objetivo no sólo definir la cantidad de externalidades negativas/positivas a reducir/aumentar (por ejemplo: emisiones de azufre en la combustión de los carburantes) sino también cómo hacerlo (por ejemplo, a través de una determinada tecnología de desulfuración). Por el contrario, los mecanismos de mercado se basan en incentivos económicos a los agentes generadores de las externalidades negativas (positivas) para que reduzcan (aumenten) sus emisiones en la forma más coste-eficiente, pero sin dirigirles hacia la forma de cómo tienen que hacerlo (Russel 1996).

### Competitividad y costes externos.

A menudo, la competitividad de los combustibles renovables en el mercado energético se encuentra limitada por sus elevados costes de inversión y la no internalización de las externalidades presentes en el mercado energético. Como se puede observar en la Figura 3, estos dos factores están relacionados ya que mediante el proceso de internalización de las externalidades presentes en el mercado energético se puede contribuir a reducir los costes de inversión de las EERR y, por lo tanto, a mejorar su competitividad.

Como muestra la Figura 3, en un estadio inicial, debido a que los costes marginales de producción de los combustibles fósiles convencionales son menores que los de los renovables, éstos últimos tienen un papel marginal en el mix energético. No obstante, el carácter limitado de los recursos fósiles hace que esta situación no sea permanente. Con el paso del tiempo, mientras los costes privados de generación de los combustibles fósiles convencionales aumentan de forma progresiva (debido a los mayores costes de extracción, etc), los costes de generación de los combustibles renovables tienden a descender debido a su desarrollo tecnológico. En esta situación, cuando únicamente se tienen en cuenta los costes privados de generación, el proceso progresivo de sustitución de los combustibles convencionales por los renovables se producirá cuando las dos curvas de costes marginales interseccionan ( $t_0$ ).

No obstante, si además de los costes marginales privados también se consideraran los costes externos de las energías convencionales, el precio de los combustibles convencionales aumenta (pasando de PECS a PECC) lo cual provoca que el punto de intersección entre las curvas de costes marginales acontezca en un momento anterior ( $t_1$ ). Este avance temporal de la penetración de las energías renovables en el mercado energético conlleva, a sí mismo, una mayor inversión que, a través de las economías de escala y las curvas de aprendizaje, suscita un descenso de sus costes, reforzando de esta forma su competitividad (IEA/OECD, 2000)



Fuente: Adaptado de Hohmeyer (1992)

**Figura 2.** Competitividad de las renovables y externalidades del mercado energético.

## Externalidades presentes en el mercado energético

La generación y consumo de combustibles se caracteriza por la presencia de externalidades, las cuales pueden diferir en naturaleza, signo, intensidad y magnitud según la tecnología energética que las genere y las particularidades ambientales y socioeconómicas del emplazamiento donde tengan lugar.

Según Stevens (1995), las externalidades más frecuentes asociadas a la generación de energía incluyen el daño al medio ambiente y a la salud debido a la contaminación atmosférica u otra repercusión ambiental asociada al proceso de generación; impactos macroeconómicos como la creación de empleo, estabilidad de precios, cambios en el valor añadido, así como factores estratégicos como son la seguridad de abastecimiento y el agotamiento de los recursos.

### A) Externalidades ambientales

Según Owen A. (2003), las externalidades ambientales se definen como los beneficios o costes que se manifiestan a través de cambios en el medio físico-biológico que afectan el bienestar de otro agente. Según Kolstad (2000), las externalidades ambientales asociadas a la generación energética se definen como aquellos efectos negativos o positivos relacionados con su producción o consumo que afectan la utilidad o función de producción de otro agente sin su permiso o sin compensación.



Hay una serie de categorías de impactos ambientales importantes originados por las actividades de generación energética. A continuación se enumeran los impactos que se consideran más significativos.

- Impactos sobre la salud humana. Los procesos de combustión causan un incremento en la concentración de ciertos contaminantes atmosféricos, muchos de los cuales han sido asociados con efectos adversos sobre la salud del público en general en especial incremento de enfermedades respiratorias y cardiovasculares y reducción de la esperanza de vida.
- Impactos sobre los ecosistemas y la biodiversidad. Las actividades que tiene lugar en la generación energética imponen importantes cargas en los ecosistemas afectados tanto por cambio de uso del suelo como por fenómenos de acidificación y eutrofización producidos por los contaminantes atmosféricos.
- Impactos sobre los cultivos debido a emisiones de contaminantes atmosféricos
- Impactos sobre los materiales de construcción. Estos efectos incluyen decoloración, corrosión, pérdida de fuerza mecánica, agrietamiento y fallo de las cubiertas protectoras debido a la degradación de los materiales. Es también muy evidente el fenómeno de ensuciado de edificios por deposición de partículas en ellos.
- Impactos del cambio climático. Las actividades humanas y en particular el uso de combustibles, están cambiando la composición de la atmósfera y sus propiedades y los cambios en la abundancia de los gases de efecto invernadero alteran el balance de energía del planeta. Según estimaciones del IPCC (IPCC, 2007a), el aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero como consecuencia de las actividades humanas respecto de los niveles preindustriales de 1750 ha resultado en un calentamiento del sistema climático con un forzamiento radiativo de  $+1.6 \text{ Wm}^{-2}$ . Este calentamiento ha originado consecuencias observables en el planeta como son los incrementos de las temperaturas medias del aire ( $0,76^{\circ}\text{C}$  desde 1850) y del océano, el derretimiento del hielo y de la nieve y la elevación del nivel del mar en el mundo. Asimismo, se han observado cambios en la temperatura y el hielo árticos, cambios en la cantidad de precipitación, en la salinidad de los océanos, en las pautas de los vientos y en la frecuencia de ocurrencia de condiciones climáticas extremas como sequías, fuertes lluvias, olas de calor e intensidad de ciclones. Para el futuro, y según las estimaciones del IPCC, se proyecta un calentamiento de  $0,2^{\circ}\text{C}$  por decenio para un rango de escenarios de emisión que incluyen esfuerzos importantes de reducción. Incluso si las emisiones se hubieran mantenido constantes en los niveles del año 2000,

la elevación de las temperaturas futuras sería de 0,1 °C por decenio. Y si las emisiones siguieran el crecimiento actual, el calentamiento sería mucho mayor y los cambios en el sistema climático mundial durante el siglo XXI serían probablemente superiores a los observados en el siglo XX. Estos cambios en el sistema climático afectan a los sistemas naturales físicos y biológicos y a los entornos humanos. Algunos de estos impactos se empiezan a ver ya, como por ejemplo cambios en la gestión agrícola y forestal de algunas zonas y modificaciones en el régimen de incendios y plagas, algunos aspectos de salud humana como mortalidad por olas de calor, vectores de enfermedades infecciosas y polen alergénico en latitudes altas y medias del Hemisferio Norte y cambios en algunas actividades humanas en las zonas del Ártico (IPCC, 2007b). De cara al futuro, estos impactos serán más evidentes y otros muchos empezarán a aparecer. Así, es probable que aumente la extensión de zonas afectadas por la sequía y las inundaciones y disminuyan las reservas del agua almacenada en forma de hielo y nieve. Es probable asimismo que se produzcan cambios importantes en la estructura y función de los ecosistemas con consecuencias negativas para la biodiversidad y la provisión de bienes y servicios por parte de los ecosistemas. En cuanto a los efectos sobre las actividades agrícolas a nivel mundial se esperan aumentos del potencial de producción de alimentos hasta un aumento de la temperatura de 3°C, pero el aumento de las sequías afectará negativamente a las latitudes bajas aumentando el riesgo de hambrunas. Las costas estarán expuestas a crecientes riesgos entre los que destacan la mortalidad de arrecifes coralinos, afección negativa a humedales costeros, e inundaciones de regiones densamente pobladas. Finalmente, la salud de millones de personas se verá probablemente afectada por un aumento de la malnutrición; muertes, enfermedades y lesiones producidas por olas de calor, inundaciones, tormentas, incendios y sequías; enfermedades diarreicas; enfermedades cardiorrespiratorias producidas por una mayor concentración de ozono y modificación de la distribución espacial de algunos vectores de enfermedades infecciosas. En zonas templadas, el cambio climático puede originar algunos beneficios para la salud tales como la reducción de muertes por exposición al frío, aunque estos beneficios no es probable que compensen los efectos negativos.

#### B) Externalidades no ambientales

Las externalidades no ambientales se diferencian de las anteriores en que los cambios en el bienestar de los agentes afectados no se derivan de una modificación del medio físico-biológico sino en un cambio en las condiciones sociales y económicas del medio en el que

viven. A diferencia de las externalidades ambientales, la literatura referente a la categorización, cuantificación y metodologías para la valoración económica de las externalidades no ambientales es relativamente escasa. Adicionalmente, existen autores con distinto posicionamiento en este sentido (Hohmeyer, 1992, Owen 2003).

La falta de consenso que subyace al tratamiento de las externalidades no ambientales se debe al hecho que no todos los efectos colaterales de naturaleza socio-económica asociados a las energías renovables deben ser considerados como externalidades. Desde el punto de vista teórico, para que dichos impactos sean considerados como externalidades, no deben verse recogidos en el precio del mercado energético o el de otros mercados del sistema económico considerado. Por ejemplo, la creación de empleo neto asociado a las energías renovables sólo debería ser considerado como externalidad si el mercado de trabajo no es eficiente; es decir, existe una tasa de desempleo superior a la “tasa natural” de desempleo. En dicho caso, la creación de empleo debería ser considerada como una externalidad positiva ya que el gobierno dejaría de pagar subsidio de desempleo a los trabajadores que empezaran a trabajar –directa o indirectamente- en el sector de las renovables

Las posibles externalidades positivas no ambientales asociadas a las energías renovables incluyen:

- Creación de nuevos mercados, innovación tecnológica y generación de empleo. En líneas generales, se puede afirmar que el uso de combustibles renovables es una fuente de actividad económica y generación de empleo que resultan del proceso de fabricación, desarrollo de los proyectos, servicios asociados así como producción de las materias primas. Además, la promoción de las energías renovables de forma autóctona, fomenta que la generación de riqueza y empleo a lo largo de todo el ciclo de vida acontezca en territorio nacional mientras que, en el caso de las energías fósiles convencionales, algunas etapas del ciclo de vida acontecen fuera del territorio nacional (por ejemplo, la extracción y transporte del crudo). Adicionalmente, y como pone de manifiesto un reciente estudio del NREL (2009), aquellos países pioneros que logran un posicionamiento de liderazgo en el mercado de las energías renovables, pueden obtener beneficios económicos adicionales a medio y largo plazo a través del aumento de las exportaciones.
- Diversificación de la oferta energética, seguridad energética y prevención de conflictos sobre los recursos naturales. Hoy en día, garantizar la seguridad energética de los países conlleva un elevado coste asociado a varios factores. La volatilidad del precio del crudo supone un riesgo para la estabilidad económica y política de muchos países

dependientes de este recurso, cuyas consecuencias pueden llegar a ser dramáticas para muchos países importadores al generar desequilibrios en su balanza de pagos. Los conflictos, sabotajes, paros en la producción y perturbaciones en las transacciones comerciales asociadas a los combustibles fósiles son graves problemas que afectan la estabilidad de los países exportadores como la de los importadores. Por esta razón, la dependencia a de los combustibles fósiles sitúa a muchos países importadores en una situación de vulnerabilidad ante conflictos en y con los países exportadores, frecuentemente situados en zonas geopolíticamente inestables. Por lo tanto, en la actual situación de concentración de recursos petrolíferos en países geopolíticamente inestables, la promoción de las energías renovables puede contribuir al bienestar social mediante el aumento de la diversificación y seguridad energética.

### **3 Metodologías para cuantificar y valorar las externalidades ambientales en el sector energético**

#### **Estado del arte**

En el sector energético, varios son los autores y organizaciones que han dedicado sus esfuerzos al estudio de la evaluación de las externalidades ambientales, entre otros Hohmeyer (1988), Ottinger et al (1990) de la Universidad de Pace, Bernow et al (1990) del Instituto Tellus, Pearce et al (1992), Triangle Economic Research (TER, 1995) y RCG-Tellus in New York State (Rowe et al, 1995). Dos han sido las aproximaciones metodológicas desarrolladas por estos autores: las metodologías de tipo top-down y las metodologías de tipo bottom-up.

Las metodologías de tipo top-down, o de arriba a abajo, son las utilizadas en los primeros trabajos sobre externalidades (Hohmeyer, 1988). Se trata de un “macroanálisis” a escala regional o nacional que utiliza valoraciones de cantidades totales de contaminantes emitidos o presentes y calcula el daño total por ellos causado. Se desagregan las emisiones por ciclos de combustible y se calcula así para cada emisión de contaminante el daño producido llegando al daño por kWh de electricidad para cada categoría de impacto y cada tecnología. Se trata de una metodología muy útil por su sencillez para tener una idea general de los daños producidos por los ciclos de combustible. Sin embargo, tiene una serie de limitaciones. Al estar basado en valores medios nacionales es imposible calcular costes marginales necesarios para el proceso de internalización, entendidos estos como los costes de una instalación adicional a las ya existentes.

Las metodologías con un enfoque bottom-up, o de abajo a arriba, tratan de evitar las limitaciones de las metodologías anteriores mediante la utilización de datos de emisión específicos de cada tecnología y datos específicos de localización de cada central. Se han realizado diversos estudios de este tipo entre los que destacan el efectuado por Ottinger et al (1990), el efectuado por el Instituto Tellus en 1990 y 1995, el realizado por Pearce et al en 1992 y el realizado por el TER en 1995.

Estos estudios utilizaron diferentes metodologías de valoración de los costes. Una de las más importantes discrepancias es la utilización de costes de control o costes de daño para la cuantificación de los costes externos. Los costes de control representan los costes adicionales de los equipos necesarios para reducir las emisiones a un nivel determinado, mientras que los costes de daño son estimaciones del daño real causado por estas emisiones. Aunque la mayoría de los analistas están de acuerdo en que la utilización de los costes del daño es la aproximación más adecuada, estos costes son en muchos casos difíciles de estimar. Una forma de estimarlos es la utilización de la función de daño o ruta de impacto. Este método identifica todos los impactos producidos por la contaminación y los cuantifica en términos físicos para luego asignarles valores monetarios usando precios y datos de mercado. El principio que subyace en esta valoración monetaria es la obtención de la disposición a pagar por evitar un impacto negativo o bien la disposición a aceptar un pago como compensación si este impacto tiene lugar. La disposición a pagar sería la cantidad de dinero que haría al individuo indiferente a pagar o experimentar el daño y guardar el dinero para gastarlo en otros bienes, entendiendo que la base de toda valoración monetaria son las preferencias de los individuos.

Existen varios métodos para obtener estos valores siendo el caso más fácil la valoración de daños sobre bienes que se intercambian en el mercado y para los cuales existe un precio de mercado. Sin embargo, una gran cantidad de impactos afecta a bienes ambientales o recursos naturales que son bienes públicos y no se intercambian en el mercado y para los cuales no existen precios explícitos como es el caso, por ejemplo, de la salud humana o los daños al patrimonio histórico-artístico. Esto no significa que estos bienes no tengan un valor o que los daños sobre ellos no puedan medirse como externalidades. Para su valoración existe una serie de métodos que pueden ser métodos directos o indirectos. Entre los métodos directos destacan los métodos de valoración contingente, que son métodos que pretenden estimar el valor de los bienes o servicios a través de las preferencias reflejadas por un encuestado al que se le presentan distintas alternativas en el contexto de “mercados hipotéticos”. Los métodos indirectos tratan de estimar estas preferencias mediante el uso de información obtenida de mercados relacionados. Entre estos métodos destacan el método de los precios hedónicos y el método del coste del viaje.

## La metodología ExterneE para la valoración de las externalidades ambientales

Posteriormente a los estudios antes mencionados, la Comisión Europea, dentro del programa JOULE II acometió el desarrollo de una metodología para la cuantificación de las externalidades de las diversas tecnologías de generación eléctrica, metodología que es hasta el momento la más aceptada por la comunidad científica. Esta iniciativa empezó en 1991 como un proyecto en colaboración entre el Departamento de Energía de Estados Unidos y la Comisión Europea, y fue continuado por la Comisión como el Proyecto ExterneE. En este proyecto inicial participaron más de 40 instituciones europeas de 9 países así como científicos de Estados Unidos. El resultado fue el primer intento de usar una misma metodología de tipo bottom-up para evaluar los costes externos de una amplio rango de diferentes ciclos de combustible (Comisión Europea, 1995). Posteriormente, el proyecto se ha continuado de forma ininterrumpida hasta la actualidad a través de diversos proyectos de investigación financiados por la CE que han completado y perfeccionado la metodología y la han aplicado a diferentes áreas (<http://www.externe.info>). Entre ellos cabe destacar el proyecto ExterneE Transport dedicado a adaptar la metodología a la evaluación de las externalidades del sector transporte (Comisión Europea, 1999a, Friedrich and Bickel, 2001), el proyecto ExterneE Nacional Implementation (Comisión Europea, 1999b) dedicado a aplicar la metodología desarrollada en 12 diferentes ciclos de combustible de 15 países europeos. Este proyecto proporcionó una base de datos muy amplia de costes externos de diferentes ciclos de combustible tanto convencionales como renovables en Europa.

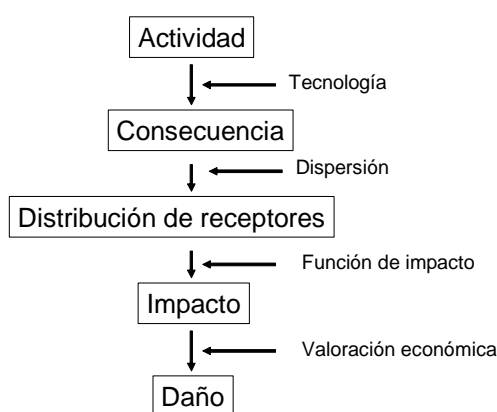
Tras estos desarrollos de la metodología siguieron otros proyectos que desarrollaron aspectos inacabados de la misma. Así, el proyecto NewExt (<http://www.ier.uni-stuttgart.de/forschung/projektwebsites/newext/>, IER et al, 2004) avanzó en cuatro áreas importantes relativas a la valoración monetaria de los impactos sobre mortalidad, la cuantificación de los impactos sobre los ecosistemas, la inclusión de los impactos producidos por la contaminación del agua y el suelo y la cuantificación de impactos de accidentes severos en ciclos no nucleares. Por su parte el recientemente acabado proyecto NEEDS (<http://www.needs-project.org/>) ha explorado algunos aspectos de la metodología relativos a la mejora de la modelización atmosférica, la revisión de las funciones dosis respuesta, la valoración de las externalidades de la extracción y transporte de los combustibles y la extensión de la cobertura geográfica. Asimismo, el proyecto ha proporcionado un marco de integración de diversas herramientas de análisis de los sistemas energéticos como el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), la modelización energética y la valoración de externalidades.

El proyecto CASES (<http://www.feem-project.net/cases/>) ha actualizado las estimaciones de costes externos de la generación eléctrica en los países de la Unión europea y también en

otros terceros países incorporado los nuevos cambios en la metodología desarrollados en el proyecto NEEDS.

La metodología ExternE (<http://www.externe.info/>) se trata de una metodología con un enfoque bottom-up, basado en el método de la función de daño o ruta de impacto para la cuantificación de los costes del daño. La ruta de impacto no es más que la serie de pasos secuenciales que unen la actividad productora de una determinada carga ambiental con el daño producido y la posterior valoración monetaria del mismo.

A continuación se representa de forma simplificada esta ruta de impacto



**Figura 6. Ruta de impacto**

## **Metodologías para cuantificar y valorar las externalidades no ambientales**

### **A) Metodología para valorar los impactos macroeconómicos**

Una de sus principales ventajas del uso de combustibles renovables es la estimulación de la economía, materializada a través un incremento en la demanda de bienes y servicios así como creación de puestos de trabajo. Este incremento puede generarse de forma directa (en aquellos sectores directamente vinculados con el proyecto: por ejemplo, ingeniería, construcción, etc) y también de forma indirecta (es decir, en aquellos sectores que abastecen a los sectores directamente vinculados con el proyecto; por ejemplo, el sector restauración que presta servicios a los trabajadores de la planta).

En este contexto, el análisis input-output se presenta como una herramienta que permite estimar la respuesta de todas los sectores que configuran una economía ante un determinado proyecto energético (Ten Raa, 2005; Hendrickson et al. 2006). Estos modelos, miden cómo los cambios en la demanda de bienes y servicios afectan la actividad económica y la creación de empleo de una determinada área de estudio (NREL, 2009).

Además de valorar el impacto total, es importante tener en cuenta el impacto en el empleo neto, es decir, en el caso que la tecnología renovable analizada esté sustituyendo a otra

tecnología (por ejemplo, una tecnología fósil convencional), será necesario tener en cuenta no sólo la creación de empleo asociada a la nueva tecnología sino también tener en cuenta la destrucción de empleo originada por la desaparición de la/s planta/s convencionales. Para estimar la destrucción de empleo, deben considerarse los empleos destruidos de forma directa e indirecta. Para ello, también puede utilizarse el método input-output.

Otro aspecto importante a tener en cuenta en el momento de valorar la creación de empleo es la ubicación de los nuevos puestos de trabajo. Como se ha mencionado anteriormente, en el caso del fomento de las tecnologías energéticas renovables de forma autóctona y a diferencia de las energías fósiles, prácticamente toda la actividad económica y creación de empleo generado a lo largo de su ciclo de vida tiene lugar dentro del territorio nacional y, en muchos casos, en ámbitos rurales desfavorecidos donde la creación de empleo y estimulación económica tienen un mayor valor para la sociedad.

Finalmente, es importante destacar que la consideración como externalidad de dicho impacto socio-económico dependerá de las condiciones del mercado laboral de la región o país considerado. Dicho de otro modo, si existe un mercado de trabajo eficiente en el que no hay desempleo (sólo la tasa natural de desempleo), la generación de nuevos puestos de trabajo no pueden considerarse como una externalidad. Por el contrario, si nos encontramos ante un mercado de trabajo ineficiente en el que existe una tasa de desempleo mayor a la tasa natural de desempleo, estamos ante una externalidad positiva ya que la creación de nuevos puestos de trabajo es una externalidad positiva para el gobierno ya que supone un ahorro en costes al no tener que pagar el subsidio de desempleo.

Por lo tanto, en el caso que el impacto en el empleo total neto sea positivo y que nos encontremos en una situación con tasas de desempleo superiores al 5%, la creación de nuevos puestos de trabajo a partir de tecnologías renovables debe ser tratada como una externalidad positiva y, por tanto, deberá ser valorada en términos económicos con el fin de ser internalizada en el precio.

Para valorar económicamente esta externalidad, se deberá analizar, para la región afectada, cuál es la tasa de desempleo en cada uno de los sectores económicos en los cuales se han generado nuevos puestos de trabajo. En aquellos sectores en los cuales la tasa de desempleo supere a la tasa natural de desempleo, se valorará la creación de cada puesto de trabajo a través del coste del subsidio de desempleo (Linares et al. 1996).

#### B) Metodología para valorar los impactos en la seguridad energética

Garantizar la seguridad energética en un contexto de dependencia de los combustibles fósiles mayormente ubicados en países geopolíticamente inestables conlleva, para muchos países, un



coste elevado. Por esta razón, la mejora en la seguridad energética a través de la promoción de tecnologías renovables autóctonas, puede suponer una reducción de costes sustancial.

Según la Comisión Europea, la seguridad energética no persigue maximizar el autoabastecimiento energético o minimizar la dependencia energética sino que está orientada a reducir los riesgos de dicha dependencia (Comisión Europea, 2000).

En lo referente a los riesgos asociados a la dependencia energética actual, la literatura distingue entre riesgos a corto y a largo plazo (IEA, 1995; Stern 2006). Los riesgos al corto plazo están generalmente asociados a cortes en el suministro causados por accidentes, ataques terroristas, condiciones climáticas extremas o caídas de la red de suministro. Por el contrario, los riesgos a largo plazo suelen referirse a desajustes en la estructura de la oferta energética, infraestructura inadecuada para abastecer a los mercados y falta del marco regulatorio e institucional adecuado para evitar interrupciones en el suministro por, entre otras, razones políticas y económicas.

Según Behrens y Egenhofer (2007), los riesgos asociados a la inseguridad energética pueden tener distinta naturaleza:

- Riesgos técnicos: incluyen fallos del sistema debidos a condiciones climatológicas adversas, falta de inversión en capital o mantenimiento inadecuado del sistema energético.
- Riesgos económicos: se refieren a los desajustes entre la demanda y la oferta energética.
- Riesgos políticos: referidos a decisiones gubernamentales de suspender la provisión energética por razones políticas, conflictos armados, revueltas civiles o fallos en la regulación energética.
- Riesgos medioambientales: hacen referencia a los posibles daños generados por accidentes (vertidos o accidentes nucleares) y emisiones contaminantes, incluyendo emisiones de GEI.

Entre las distintas medidas que los gobiernos pueden adoptar para luchar contra estos riesgos, la promoción de las energías renovables tiene un papel destacado. En este sentido, la promoción de las energías renovables es una piedra fundamental para reducir los riesgos ambientales (entre otros, para luchar contra el cambio climático y reducir los posibles daños en caso de accidente). Adicionalmente, la generación energética de forma autóctona reduce la dependencia con países geopolíticamente inestables y, por lo tanto, reduce los riesgos políticos. En materia económica, para los países importadores de petróleo, las energías renovables pueden ayudar a corregir desajustes de la balanza de pagos y a reducir la volatilidad de los precios energéticos, altamente dependientes de la evolución del precio del petróleo.

Por lo tanto, una forma de valorar económicamente el impacto que las energías renovables pueden tener en aspectos relacionados con la seguridad energética, consiste en estimar la reducción en el coste asociado a las medidas que los gobiernos implementan para hacer frente a los distintos riesgos asociados a la inseguridad energética.

## **4 Valoración de externalidades**

### **Estimación de los efectos netos**

En la valoración de los beneficios externos producidos por la sustitución combustibles fósiles por renovables, se deben tener en cuenta los efectos producidos en el medioambiente y en la economía por los procesos de producción y uso de estos combustibles fósiles sustituidos que se están dejando de producir y consumir.

Así, en este caso, la introducción de bioetanol de sorgo en el mercado de carburantes reduciría previsiblemente el consumo de gasolina. La producción de gasolina tiene también externalidades medioambientales y socioeconómicas asociadas generando emisiones, valor añadido y empleos.

Para hacer una estimación de los beneficios netos sería necesario estimar cuáles serían los efectos desplazados por la reducción en el consumo de la gasolina producida al introducir el bioetanol de sorgo en el mercado de carburantes. Esta estimación no es sencilla. La gasolina, que se produce en las refinerías del país, es sólo uno de los productos derivados del petróleo que se producen simultáneamente en la refinería al refinar el crudo. La reducción del consumo de gasolina no implica necesariamente una reducción de la producción de gasolina ni de la actividad de la refinería, ya que la demanda de los productos que se producen simultáneamente – diésel, fuel oil, ect...- se mantiene. Esto haría que los efectos de desplazamiento en el sector del refino se vieran reducidos. Es posible que la gasolina que se dejara de consumir se destinara a la exportación en vez de reducir la actividad de la refinería lo que haría necesario un análisis de los mercados receptores.

Asimismo, una parte sustancial de los efectos socioeconómicos de la gasolina, combustible fósil al que desplazaría el bioetanol de sorgo producido, se producen fuera del país al ser el crudo importado, por lo que los efectos sobre la economía nacional se verían reducidos en esa parte.

En cualquier caso, sería necesario realizar un análisis detallado del mercado de productos petrolíferos y del funcionamiento del sector refinero en el país para poder estimar los efectos marginales de esta reducción del consumo de la gasolina, que queda fuera del alcance de este documento.

**En este estudio, para hacer una estimación preliminar de los efectos netos, se ha considerado que cada MJ de bioetanol de sorgo producido sustituye a 1 MJ de gasolina.**

### **Valoración de externalidades medioambientales**

La metodología empleada en este estudio para el cálculo de costes externos medioambientales de la energía se erige sobre la base de la “ruta de impacto”, propia de la metodología del proyecto ExternE (<http://www.externe.info/>). El concepto de “ruta de impacto” conlleva un proceso secuencial que comienza por la identificación de las sustancias y las cantidades que son emitidas en un proceso. Posteriormente, es necesario traducir estas emisiones en incrementos de concentración. Este cambio en la composición química de la atmósfera genera efectos directos o inducidos sobre los distintos medios receptores. A partir de la información sobre el impacto físico de las emisiones se asignan valores monetarios a estos impactos físicos, obteniéndose resultados de daño real que, en términos económicos, deberán ser interpretados como el valor monetario de variaciones positivas o negativas del bienestar ante modificaciones en el vector de calidad ambiental.

El Análisis de ciclo de Vida (ACV) es el enfoque empleado en el presente estudio para estimar el volumen de emisiones asociadas a la producción de una unidad adicional de energía procedente del bioetanol de sorgo producido. Aunque un ACV ofrece resultados para un largo listado de contaminantes, en este estudio nos centraremos únicamente en las emisiones de gases de efecto invernadero (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O).

Una vez identificadas la emisión de estos contaminantes derivados de la producción y uso del bioetanol de sorgo, se estima el valor económico de dichas emisiones a través del uso de unos factores que determinan el valor de los daños provocados por una determinada carga contaminante.

El impacto sobre el cambio climático es la categoría de impacto que más se aleja de la aproximación propia de la “ruta de impacto”. Para valorar el coste de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero se puede usar:

- Coste social del carbono, que consiste en emplear un enfoque similar a la “ruta de impacto” para determinar los daños asociados a las emisiones de GEI. Para llevar a cabo esta estimación se utilizan modelos de simulación de las condiciones climáticas y las consecuencias de un aumento en la temperatura global. En concreto, el proyecto NEEDS (<http://www.needs-project.org/>) y el proyecto CASES (<http://www.feem-project.net/cases/>) estimaron el valor de los daños del cambio climático a través el modelo de estimación integrada Climate Framework for Uncertainty, Negotiation and Distribution (FUND) (<http://www.fund-model.org/home>).

- Coste de reducción de las emisiones hasta un nivel que permita alcanzar los objetivos de lucha contra el cambio climático. Esta aproximación resultaría equivalente a la pérdida de bienestar experimentada por la población si los límites de emisión fijados fuesen óptimos. Para utilizar esta aproximación sería necesario contar con alguna estimación de los costes marginales de reducción de emisiones de GEI en el caso de Uruguay.

De cara a la valoración económica de las emisiones de GEI en este estudio se tomará como aproximación preferida el valor del coste social del carbono. Para obtener un valor de referencia de este coste utilizaremos el coste social de carbono estimado en los proyectos NEEDs y CASES antes mencionados utilizando el modelo integrado FUND. Este modelo consiste en una serie de escenarios exógenos y perturbaciones endógenas. El modelo distingue 16 regiones del mundo y se ejecuta desde 1950 hasta 2300 en periodos de un año. Los escenarios se definen en función del crecimiento de la población, el crecimiento económico, el ratio de descarbonización del sistema energético y los incrementos de eficiencia esperados. Estos escenarios se ven perturbados por el cambio climático en varios sentidos: disminución de la población por muertes debidas al cambio climático (enfermedades y fenómenos meteorológicos extremos) y por migraciones debidas a la adaptación al cambio climático. Los impactos cuantificados son pérdidas en la economía, reducción del consumo e incremento de gastos en medidas de reducción de emisiones que causan una reducción en el crecimiento económico a largo plazo. Estos impactos se calculan de forma endógena por el modelo e incluyen impactos sobre la agricultura, los bosques, el aumento del nivel del mar, enfermedades de diversos tipos e impactos sobre el consumo de agua y los ecosistemas. Estos impactos son traducidos posteriormente en términos monetarios utilizando diversos valores (Anthoff, 2007)<sup>1</sup>.

El valor usado en este estudio, que es el recomendado en estos proyectos descontado al año 2015 y expresados en US\$<sub>2015</sub>, es de 11,09 US\$<sub>2015</sub>/t.

Para estimar los efectos netos se han calculado las emisiones de gases de efecto invernadero evitadas por la sustitución de un combustible fósil de referencia que en este caso se ha considerado que sería gasolina. Las emisiones del ciclo de vida de la producción y uso de este combustible se estiman en 83,8 g CO<sub>2</sub>equiv/MJ que es el valor que toma como referencia la Directiva Europea DER (EC, 2009).

Las emisiones de gases de efecto invernadero evitadas por el uso de bioetanol de sorgo en Uruguay se han estimado en el estudio de ACV realizado en 33,45 gCO<sub>2</sub>equiv/MJ bioetanol de

---

<sup>1</sup> Anthoff, 2007. NEEDS project Delivery n° 5.4 - RS 1b "Report on marginal external damage costs inventory of greenhouse gas emissions.

sorgo. Utilizando el factor de daño seleccionado los beneficios externos del uso de bioetanol se han cuantificado en **0,35 \$/l**.

### Valoración de externalidades socioeconómicas

La valoración de externalidades socioeconómicas en este estudio está basada en el Análisis Input Output realizado del proceso de producción de bioetanol de sorgo en Uruguay.

Del estudio de impactos socioeconómicos de la producción de bioetanol de sorgo realizado, se han obtenido resultados de incrementos de la actividad económica total y del valor añadido, así como los efectos sobre el empleo tanto directos como indirectos así como los efectos inducidos. Asimismo se ha cuantificado la externalidad adicional asociada a la generación de empleo rural.

#### Efectos sobre el valor añadido

El incremento total de valor añadido a la economía, en términos brutos, por la producción de bioetanol de sorgo obtenido en este estudio, puede considerarse directamente un beneficio externo y se ha estimado en **20,73 \$/l** (0,98 \$/MJ bioetanol de sorgo).

Es necesario tener en cuenta que en esta estimación del valor añadido no está incluido el valor añadido creado por el propio bioetanol de sorgo, ya que no se incluye en el análisis el margen comercial de la empresa ni los gastos salariales. Solamente se computa el valor añadido creado por la demanda de bienes y servicios de la planta a los distintos sectores de la economía tanto en su construcción como en la operación.

Para estimar los efectos netos, se han cuantificado los efectos sobre el valor añadido de la producción de 1 MJ de gasolina utilizando la metodología Input Output de forma similar a como se hizo para el bioetanol de sorgo.

Como hipótesis de trabajo se ha considerado un coste de producción de la gasolina en 2015 de 18,37 \$<sub>2015</sub>/l<sup>2</sup> (considerando un precio de 40,6 \$/l, un impuesto de 18,99 \$/l y un margen comercial del 15%). Esta cantidad se ha demandado del sector D23TT0 (Productos de la refinación del petróleo y combustible nuclear) directamente en la matriz I-O para obtener la actividad económica, valor añadido y empleos directos e indirectos, así como los efectos inducidos, en forma similar a cómo se hizo para el caso del bioetanol de sorgo.

Los resultados arrojan una cifra de valor añadido de 3,48 \$/l de gasolina (0,11 \$/MJ gasolina). Considerando de forma simplificada que 1 MJ de bioetanol de sorgo reemplaza a 1 MJ de

---

<sup>2</sup> Se ha actualizado este coste con la inflación acumulada desde 2005 que es el año base de la Tabla IO resultando un coste de producción de 8,23\$<sub>2005</sub>/l

gasolina, se obtiene un efecto neto sobre el valor añadido de 0,87 \$/MJ bioetanol de sorgo o **18,45 \$/l** bioetanol de sorgo.

### **Efectos sobre el empleo**

En cuanto a los efectos sobre el empleo, se han tomado los resultados obtenidos en el Análisis Input Output realizado del proceso de producción de bioetanol de sorgo en la planta de ALUR. La valoración en términos económicos de los empleos generados en el ciclo de producción de bioetanol de sorgo, se ha realizado considerando el ahorro en los gastos del gobierno en concepto de subsidio de desempleo.

Para ello se ha calculado la cantidad que percibiría cada trabajador desempleado de acuerdo a la Ley Nº 18.399<sup>3</sup>. Dicha ley establece que cada trabajador con remuneración mensual fija o variable, recibirá el subsidio por un plazo máximo de seis meses en los casos de despido o trabajo reducido, y de cuatro meses en los casos de suspensión total. En este caso hemos considerado un subsidio de 4 meses. Este subsidio se calcula de acuerdo a los siguientes porcentajes del promedio mensual de las remuneraciones nominales computables percibidas en los seis meses inmediatos anteriores al despido:

66% (sesenta y seis por ciento), por el primer mes de subsidio.

57% (cincuenta y siete por ciento), por el segundo.

50% (cincuenta por ciento), por el tercero.

45% (cuarenta y cinco por ciento), por el cuarto.

El monto del subsidio no podrá superar los siguientes máximos:

11 BPC (once Bases de Prestaciones y Contribuciones), por el primer mes de subsidio.

9,5 BPC (nueve y media Bases de Prestaciones y Contribuciones), por el segundo.

8 BPC (ocho Bases de Prestaciones y Contribuciones), por el tercero.

7 BPC (siete Bases de Prestaciones y Contribuciones), por el cuarto.

El valor del BPC se estableció para el año 2015 en 3052\$(<http://www.bps.gub.uy/bps/valoreshistoricos.jsp?idVariable=20&contentid=5479>).

Sólo podrán considerarse efectos externos aquellos empleos producidos en los sectores cuya tasa de desempleo sea superior a la tasa natural del 5%. En los sectores cuya tasa de desempleo es menor que esa tasa del 5%, es muy probable que las personas empleadas en las actividades estimuladas por este proyecto estuvieran trabajando y no provinieran de las listas

---

<sup>3</sup> Ley Nº 18.399. SEGURO DE DESEMPLEO ADMINISTRADO POR EL BANCO DE PREVISIÓN SOCIAL (<http://www.parlamento.gub.uy/leyes/AccesoTextoLey.asp?Ley=18399&Anchor=>)

de desempleados. En los sectores de mayor tasa de desempleo asumiremos que las nuevas personas empleadas estaban previamente desempleadas y cobrando el subsidio de desempleo.

La tasa de desempleo media del país en 2015 fue del 7,5% (INE, 2015). A falta de datos sectoriales se ha considerado la tasa general de desempleo. El promedio de la tasa de desempleo del país es superior al 5% en todas las regiones por lo que se consideran externalidades positivas.

Teniendo en cuenta la remuneración media de cada sector de la economía uruguaya y el número de empleos generados en la vida útil de la planta en cada uno de los sectores se ha calculado el ahorro total para el gobierno en **2,54\$/l**(0,12\$/MJ) de bioetanol de sorgo producido.

En cuanto al empleo generado en zonas rurales se ha considerado éste como una externalidad adicional a la anteriormente estimada. Para ello se optó por considerar la valoración que el gobierno atribuye a la creación de empleo en contextos rurales. Según fuentes oficiales del COMAP Ministerio de Economía y Finanzas, esta valoración asciende a un 1,15. La valoración adicional por empleo rural obtenida se ha estimado en **0,14\$/l**(0,007 \$/MJ).

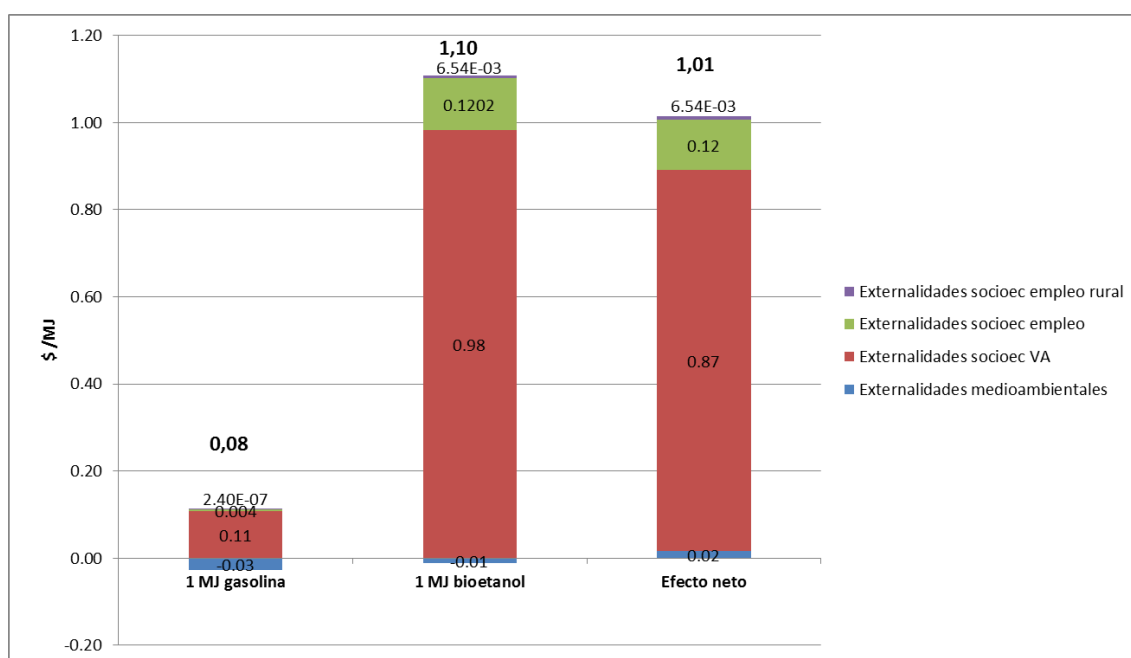
Es necesario destacar que estos beneficios socioeconómicos externos no tienen en cuenta las pérdidas de empleo y actividad económica en los sectores de la economía que se verían afectados por la reducción del consumo de combustibles fósiles. Se trata pues de una estimación de efectos brutos y no netos sobre la economía.

Para estimar los efectos netos se ha procedido, como en el caso del valor añadido, a cuantificar los efectos sobre la generación de empleo de la producción de 1 litro de gasolina utilizando la metodología Input Output de forma similar a como se hizo para el bioetanol de sorgo.

Los resultados arrojan un valor de **0,12 \$/l** gasolina (0,004 \$/MJ gasolina) y **7,72 e-06 \$/l** gasolina (2,4e-7\$/MJ gasolina) para el empleo rural generado por la cadena de gasolina.

Considerando de forma simplificada que 1 MJ de bioetanol de sorgo reemplaza a 1 MJ de gasolina, se obtiene un efecto neto sobre la generación de empleo de 0,117\$/MJ bioetanol de sorgo o **2,46\$/l** bioetanol de sorgo más un efecto neto debido a la generación de empleo rural de 0,007\$/MJ bioetanol de sorgo o **0,14 \$/l** bioetanol de sorgo. En total **0,123 \$/MJ o 2,6\$/l** de bioetanol de sorgo producido.

En total los beneficios externos debidos a la sustitución de gasolina por bioetanol de sorgo se han cuantificado en **21,40 \$/l bioetanol de sorgo (1,01 \$/MJ bioetanol de sorgo)**



**Figura 7. Beneficios externos de la producción y uso de bioetanol de sorgo en sustitución de gasolina en Uruguay.**

### Otras externalidades

A continuación se presentan otros impactos asociados que se han calculado para el periodo considerado (2015-2033) bajo dos posibles escenarios de penetración del bioetanol de sorgo (ver anexo 1).

### Efectos sobre PIB

Para calcular el impacto bruto y neto sobre el producto interior bruto (PIB) asociado a la penetración del bioetanol de sorgo durante el periodo 2009-2033 bajo los dos escenarios considerados, se ha procedido de la siguiente manera: A partir del impacto total del bioetanol de sorgo sobre el valor añadido por unidad energética obtenido del análisis input output anteriormente descrito 33,07 USD (2015)/GJ, se ha multiplicado por el contenido energético asociado a la producción anual de bioetanol de sorgo durante el periodo 2009-2033. Este cálculo se ha realizado para los dos escenarios analizados para obtener el impacto bruto sobre el PIB.

Para calcular el impacto neto sobre el PIB, se ha tenido en cuenta el efecto “desplazamiento” de gasolina en los dos escenarios considerados. Al igual que en el análisis anterior, se ha tenido en cuenta el impacto total sobre el VA de la gasolina (3,64 USD (2015)/GJ) calculado mediante el análisis input-output. A continuación, se ha multiplicado este impacto por el contenido



energético asociado a la producción de gasolina que dejará de consumirse en Uruguay a consecuencia de la penetración del bioetanol de sorgo.

Finalmente, teniendo en cuenta datos macro-económicos y proyecciones del PIB para el periodo considerado, se ha calculado la contribución del bioetanol de sorgo sobre el PIB total durante el periodo 2015-2033.

**Tabla 2: Efectos en el PIB asociados a la penetración del bioetanol de sorgo en Uruguay.**

	Escenario 1_Bioetanol	Escenario 1_gasolina	Efecto neto Bioetanol Esc 1
PIB BD (millones usd 2015)	392.46	43.18	349.28
% PIB BD (usd 2015)/PIB total	0.04%	0.005%	0.04%
	Escenario 2_Bioetanol	Escenario 2_gasolina	Efecto neto Bioetanol Esc 2
PIB BD (miles usd 2015)	561.10	61.73	468.50
% PIB BD (usd 2015)/PIB total	0.06%	0.007%	0.05%

### Efectos sobre la recaudación fiscal

Para calcular cuál va a ser el efecto bruto y neto de la penetración del bioetanol de sorgo en la recaudación fiscal en Uruguay, se van a tener en cuenta los siguientes impactos:

- Recaudación fiscal asociada al incremento total de la actividad económica asociada a las demandas finales del bioetanol de sorgo: Teniendo en cuenta el incremento el valor añadido total por sector (directo, indirecto e inducido) asociado al bioetanol de sorgo en los dos escenarios analizados durante el periodo 2009-2033 y la información sobre la recaudación fiscal por sectores incluidas en la tabla input-output uruguaya (filas 65, 66, 68 y 70) se puede calcular: (i) el incremento en la recaudación de impuestos sobre bienes y servicios nacionales, (ii) el incremento en la recaudación de impuestos sobre bienes y servicios importados, (iii) las contribuciones sociales a los trabajadores e (iv) y la recaudación de impuestos menos subvenciones a la producción.
- Recaudación fiscal asociada a la actividad empresarial de ALUR: A partir de información fiscal facilitada por la empresa y la producción de bioetanol de sorgo en los dos escenarios analizados, se pudo calcular la recaudación fiscal asociada a la actividad empresarial de ALUR en el periodo considerado.

- c) Recaudación fiscal por IRPF: Teniendo en cuenta la contribución al PIB del bioetanol de sorgo en los dos periodos considerados y la estimación del porcentaje de recaudación del IRPF por PIB (2,2%) facilitada por la DNE, se estimó la recaudación fiscal asociada al impuesto sobre las personas físicas (IRPF).

Finalmente, para tener en cuenta la contribución fiscal neta, se deben acometer los cálculos anteriormente mencionados para la gasolina. La única diferencia a tener en cuenta en los cálculos para la gasolina, es que en el segundo paso, al ya existir un sector económico que incluye esta actividad, únicamente se deberían tener en cuenta los impuestos correspondientes (IMESI).

**Tabla 3: Recaudación fiscal de la penetración del bioetanol de sorgo en Uruguay (2009-2033)**

Escenario 1_Bioetanol	Escenario 1_Bioetanol	Escenario 1_gasolina	Efecto neto Bioetanol Esc 1
Recaudación fiscal asociada a la demandade bioetanol 2009-2033			
Impuestos s/ bienes y servicios nacionales (2006-2033)	26.65	6.42	20.23
Impuestos s/ bienes y servicios importados (2006-2033)	3.90	0.91	2.99
Contribuciones sociales a los trabajadores (2006-2033)	23.95	1.55	22.39
Impuestos menos subvenciones (2006-2033)	9.02	3.05	5.97
Total recaudación fiscal asociada a la demandade bioetanol (millones us \$ 2015) 2009-2033	63.52	11.94	51.58
Recaudación fiscal asociada a la actividad de ALUR (millones us \$ 2015) 2009-2033	468.38	176.02	292.36
Recaudación fiscal IRPF (millones us \$ 2015) 2009-2033	8.63	0.09	8.55
TOTAL RECAUDACIÓN FISCAL (millones USD 2015) 2009-2033	540.53	188.04	352.49
Escenario 2_Biodiesel	Escenario 2_Bioetanol	Escenario 2_gasolina	Efecto neto Bioetanol Esc 2
Recaudación fiscal asociada a la demandade bioetanol 2009-2033			
Impuestos s/ bienes y servicios nacionales (2006-2026)	38.10	9.18	28.92
Impuestos s/ bienes y servicios importados (2006-2026)	5.57	1.30	4.27
Contribuciones sociales a los trabajadores (2006-2026)	34.24	2.22	32.02
Impuestos menos subvenciones (2006-2026)	12.90	4.37	8.53
Total recaudación fiscal asociada a la demandade bioetanol (millones us \$ 2015) 2009-2033	90.81	17.07	73.74
Recaudación fiscal asociada a la actividad de ALUR (millones us \$ 2015) 2009-2033	656.66	251.65	405.01
Recaudación fiscal IRPF (millones us \$ 2015) 2009-2033	12.34	0.12	12.22
TOTAL RECAUDACIÓN FISCAL (millones USD 2015) 2009-2033	759.82	268.84	490.97

### Efectos en la balanza de pagos y seguridad energética:

Para tener en cuenta el impacto que va a tener la introducción del bioetanol de sorgo en la balanza de pagos, se tuvo en cuenta la cantidad de bioetanol de sorgo/gasolina que se consumiría/dejaría de consumir anualmente en cada escenario analizado y, además, se identificaron qué bienes y servicios dejarían de importarse y cuáles deberían exportarse a consecuencia de la sustitución del gasolina por bioetanol de sorgo teniendo en cuenta todo el ciclo de vida y también los subproductos generados.

En ambos casos, se tuvo en cuenta las importaciones/exportaciones en términos físicos y en términos monetarios.

En lo referente a los inputs importados necesarios para producir bioetanol de sorgo, se distinguieron aquellos correspondientes a la fase agrícola (herbicidas y fertilizantes) y a la fase de producción del bioetanol de sorgo.

**Tabla 4:** Bienes considerados en la variación en las importaciones/exportaciones

	EXPORTACIONES/IMPORTACIONES
(-) import	<i>Equivalente BE en gasolina (ton)</i>
(-) import	DDGS (ton)
FASE DE PRODUCCION DE BIOETANOL	
(+) import	<i>Enzimas (alfa amilasa)</i>
(+) import	<i>Enzimas (gluco amilasa)</i>
(+) import	<i>Enzimas (proteasa)</i>
(+) import	<i>Levaduras</i>
(+) import	<i>Urea</i>
(+) import	<i>DAP</i>
(+) import	<i>Antiespumante</i>
(+) import	<i>Antibiótico</i>
(+) import	<i>3D TRASAR® 3dt187 (TR)</i>
(+) import	<i>NALSPERSE® 7308 (TR)</i>
(+) import	<i>Carbonato de sodio</i>
(+) import	<i>Clorito de sodio FR C-25 (NaClO<sub>2</sub>)</i>
FASE AGRICOLA	
(+) import	<i>Fertilizantes (USD)</i>
(+) import	<i>Herbicidas (USD)</i>

Adicionalmente, dentro de las variaciones en las importaciones/exportaciones, se distinguió la reducción de las importaciones de combustibles fósiles (gasolina y carbón de coque) como una aproximación al impacto del bioetanol de sorgo en seguridad energética.

Teniendo en cuenta el precio de los productos cuyas importaciones/exportaciones van a afectar a la balanza de pagos durante el periodo considerado, se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 5: Efecto del bioetanol de sorgo en la Balanza de Pagos y en seguridad energética**

	Escenario 1_ NETO (2009-2033)	Escenario 2_ NETO (2009-2033)
TOTAL Impacto neto Balanza de Pagos (millones USD 2015)	176.36	264.92
TOTAL Seguridad energética (-importac. Comb. Fósiles) (millones USD 2015)	138.99	199.00

### Efectos sobre la creación de empleo rural (descentralización)

Finalmente, dentro de la creación de empleo total (directo, indirecto e inducido) generado por la penetración del bioetanol de sorgo durante el periodo 2009-2033, se consideró oportuno tener en cuenta qué parte de dicho empleo se generaba en el ámbito rural. Dicha distinción se justifica porque la sociedad valora la creación de puestos de trabajo y estimulación económica en el ámbito rural de forma positiva ya que es una forma de revertir el movimiento migratorio del campo a las ciudades para buscar nuevas oportunidades y un mejor nivel de vida.

A partir del número de empleos totales generados en cada sector durante el periodo considerado, con objeto de identificar aquellos empleos rurales, únicamente se consideraron aquellos sectores que desarrollan mayoritariamente su actividad en el campo.

**Tabla 6: Sectores considerados rurales**

A01111	Arroz; servicios agrícolas aplicados al cultivo de arroz
A01119	Otros cultivos de cereales y otros cultivos n.c.p.; servicios agrícolas aplicados a estos cultivos
A01120	Hortalizas y legumbres; productos de viveros; servicios agrícolas aplicados a estos cultivos
A01130	Productos de árboles frutales, uvas, y plantas cuyas hojas o frutas se utilizan para preparar bebidas o especias; servicios agrícolas aplicados a estos cultivos
A01211	Leche sin elaborar y productos lácteos elaborados en predio; servicios ganaderos aplicados a la producción de leche
A01219	Productos de la cría de ganado vacuno, ovino, caprino, caballar, excepto producción de leche; servicios ganaderos aplicados a esta actividad
A01220	Aves y huevos; otros productos de la cría de aves; ganado porcino en pie; otros animales y sus productos n.c.p; productos de la caza ordinaria; pieles finas; servicios aplicados a estas actividades
A02000	Madera y otros productos de la silvicultura; servicios conexos

Para valorar económicamente los empleos rurales (como una externalidad adicional a la anteriormente estimada), se optó por considerar la valoración que el gobierno atribuye a la creación de empleo en contextos rurales. Según fuentes oficiales, esta valoración asciende a un 1,15 (fuente COMAP). Es decir, para el cálculo y valoración de las externalidades del empleo anteriormente descritas, se han identificado cuántos de dichos empleos se crean en el medio rural y se han multiplicado por 1,15 veces la valoración de dicho empleo. El resultado obtenido da una aproximación económica a la externalidad extra asociada a la creación de empleos rurales del bioetanol de sorgo (para calcular el efecto neto se debería repetir el mismo ejercicio con el empleo generado por la gasolina).

Los resultados globales obtenidos para los dos escenarios se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 7: Efectos sobre el empleo**

	Escenario 1_bioetanol	Escenario 1_gasolina	Efecto neto bioetanol Esc 1
Empleos totales	27780.39	1639.54	26140.85
Valoración empleos totales (externalidad) (millones USD 2015)	48.05	1.43	46.62
Empleos rurales	6765.71	0.73	6764.98
Valoración Empleos rurales (externalidad) (milloneses USD 2015)	2.61	9.59E-05	2.61
Total externalidades empleo (empleo total + rural) millones USD 2015	50.67	1.43	49.23
	Escenario 2_bioetanol	Escenario 2_gasolina	Efecto neto bioetanol Esc 2
Empleos totales	39718.05	2344.08	37373.97
Valoración empleos totales (externalidad) (millones USD 2015)	68.70	2.05	66.65
Empleos rurales	9673.04	1.04	9672.00
Valoración Empleos rurales (externalidad) (milloneses USD 2015)	3.74	1.37E-04	3.74
Total externalidades empleo (empleo total + rural) millones USD 2015	72.44	2.05	70.39

## 5 Conclusiones

El estudio realizado recoge una estimación de las externalidades medioambientales y socioeconómicas de la producción y uso de bioetanol de sorgo en Uruguay. Las principales conclusiones son las siguientes:

- Las emisiones de gases de efecto invernadero evitadas por el uso de bioetanol de sorgo en Uruguay se han estimado en el estudio de ACV realizado en 33,45 gCO<sub>2</sub>equiv/MJ bioetanol de sorgo. Utilizando el factor de daño seleccionado los beneficios externos medioambientales del uso de bioetanol de sorgo se han cuantificado de forma preliminar en **0,35 \$/l**.
- El incremento neto de valor añadido a la economía puede considerarse directamente un beneficio externo y se ha estimado en **18,45 \$/l**.
- En base al estudio de IO realizado de la producción de bioetanol de sorgo y gasolina se ha concluido que el efecto externo neto (incluyendo el empleo rural) sobre la generación de empleo en términos de ahorros para el Estado en concepto de subsidio de desempleo sería de **2,60 \$/l** bioetanol de sorgo producido.
- En total, el beneficio externo neto de la producción y uso de bioetanol de sorgo en sustitución de gasolina se ha estimado en **21,40 \$/l bioetanol de sorgo**.

Respecto a los otros efectos analizados se ha concluido que:

- Los efectos totales netos sobre el producto interior bruto en los dos escenarios prospectivos analizados dan un valor de 349,28 y 468,50 millones US\$ para los escenarios 1 y 2 respectivamente. Esto es equivalente a los **18,45 \$/l** calculados anteriormente.
- Los efectos netos sobre la recaudación impositiva totales son de 352,49 y 490,97 millones de millones US\$ para los escenarios 1 y 2 respectivamente. Esto es equivalente a **18,62 \$/l y 18,14 \$/l** respectivamente.
- Los efectos netos sobre la balanza de pagos han resultado ser de 176,36 y 264,92 millones US\$ para los escenarios 1 y 2 respectivamente. Esto es equivalente a **9,31 \$/l y 9,79 \$/l** respectivamente.
- De ellos, los efectos sobre la seguridad energética son de 138,99 y 199,00 millones US\$ para los escenarios 1 y 2 respectivamente, lo que es equivalente a **7,34 \$/l y 7,35 \$/l** respectivamente.

- Finalmente los efectos netos sobre la creación de empleo, cuantificados en términos económicos son de 49,23 y 70,39 millones US\$ para los escenarios 1 y 2 respectivamente. Esto es equivalente a los **2,60 \$/l** calculados anteriormente.

## 6 Referencias

- Anthoff, D. NEEDS New Energy Externalities Developments for Sustainability INTEGRATED PROJECT Delivery n° 5.4 - RS 1b "Report on marginal external damage costs inventory of greenhouse gas emissions" 2007.
- Bernow, S.S. and D.B. Marron. Valuation of Environmental Externalities for Energy Planning and Operation. Tellus Institute, Boston. 1990.
- Coase, R. The problem of social cost. Journal of Law and Economics 3, 1-44. 1960.
- Comisión Europea. Comunicación de la comisión al consejo y al parlamento Europeo: Informe de avance sobre la energía procedente de fuentes renovables. 2009.
- Comisión Europea. External Costs. Research results on socio-environmental damages due to electricity and transport. DG Research. EUR 20198. 2003.
- Comisión Europea. ExternE. Externalities of Energy. Methodology 2005 Update. DG Research. EUR 21951. 2005.
- Comisión Europea. ExternE. Externalities of Energy. Vol 1-6. 1995.
- Comisión Europea. ExternE. Externalities of Energy. Vol. 10 National Implementation. 1999b.
- Comisión Europea. ExternE. Externalities of Energy. Vol. 7 Methodology 1998 update. 1999c.
- Comisión Europea. ExternE. Externalities of Energy. Vol. 9 Fuel Cycles for emerging and end-use technologies, transport and waste. 1999a.
- Comisión Europea. Towards a European Strategy for the Security of Energy Supply, Green Paper, COM 769, Bruselas. 2000.
- Del Río. ICE. "La promoción de la electricidad renovable en España en el contexto europeo". Economía y Medio Ambiente. Marzo-Abril 2009, Nº 847. 2009.
- Friedrich R and Bickel, P. Environmental external costs of transport. Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York. 2001.
- Hendrickson C., Lave L.B., Matthews H. S. Environmental Life Cycle assessment of goods and services. An input-output approach. Resources for the Future, Washington DC. ISBN 1-933115-24-6. 2006.
- Hohmeyer O. Renewables and the full costs of energy. Butterworth-Heinemann. 1992
- Hohmeyer, O. Social Costs of Electricity Consumption. Springer Verlag, Berlin. 1988.
- IEA. Experience curves for energy technology policy. IEA/OECD. Paris. 2000
- IER, ARMINES/ENSMP, PSI, Université de Paris I, University of Bath, VITO. New Elements for the Assessment of External Costs from Energy technologies. NewExt . Publishable report to the European Commission DGRTD. 2004.
- INE, 2015. Tasa de desempleo por área geográfica.  
<http://www.ine.gub.uy/actividad/empydesemp2008.asp?Indicador=ech>
- IPCC. Cambio climático 2007. Bases de Ciencia Física. Contribución del Grupo de Trabajo I al Cuarto informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre

- Cambio Climático. Resumen para responsables de Políticas, Resumen Técnico y preguntas mas Frecuentes. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, M. Marquis, K. Averyt, M.M.B. Tignor, H. Leroy Millar, Jr., Z. Chen (eds) ISBN 92-9169-121-6. 2007a.
- IPCC. Resumen para Responsables de Políticas. En Cambio Climático 2007: Impactos y Vulnerabilidad. Contribución del Grupo de Trabajo II al Cuarto Informe de Evaluación del IPCC, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden y C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido. 2007b
  - Linares, P. Evaluación de las externalidades de la biomasa para producción eléctrica Documentos CIEMAT 84. 1996
  - Ottinger, R.L., Wooley, D.R., Robinson, N.A., Hodas, D.R., Babb, S.E. Environmental Costs of Electricity. Oceana Publications Inc., New York. 1990.
  - Owen D.A.. Environmental externalities, market distortions and the Economics of Renewable Energy technologies. The Energy Journal. 2003.
  - Pearce, D.C., Bann, and S. Georgiou. The Social Costs of Fuel Cycles. A report to the UK Department of Trade and Industry. HMSO, London. 1992.
  - Pigou, A. Economics of Welfare. Macmillan, London. 1920.
  - Rowe, R., Lang, C., Chesnut, L., Latimer, D., Rae, D., Bernow, S., White, D. The New York Electricity Externality Study. Oceana Publications, Dobbs Ferry, NY.1995.
  - Russel C., Powell P., Choosing Environmental Policy Tools: Theoretical cautions and practical considerations. Washington DC. Nº ENV-102. 1996
  - Sáez R., Lechón Y., Varela M., Aspectos socioeconómicos de la producción energética. Tecnologías energéticas e impacto ambiental. McGraw-Hill Professional. CIEMAT 2001
  - Stavins N. R. Communication "The environmental Forum May/June 2004". The Environmental Law Institute, Washington D.C. 2004.
  - Stern J. The new security environment for European Gas: worsening geopolitics and increasing global competition of LNG, Oxford Institute for Energy Studies, NG15, Oxford. 2006.
  - Stevens, G. Comparative Assessment of Economics of Nuclear Power and Other Options. Paper presented to the International Symposium on Electricity, Health and the Environment: Comparative Assessment in Support of Decision Making. IAEA, Wien. 1995.
  - Stirling, A. Limits to the value of external costs. Energy policy 25 (1997) n5 pp 517-540.
  - Stuart, Ralph (Lead Author); Tom Tietenberg (Topic Editor). "Command and control regulation." In: Encyclopedia of Earth. Eds. Cutler J. Cleveland (Washington, D.C.: Environmental Information Coalition, National Council for Science and the Environment).2007.
  - Tegen, S. Comparing Statewide Economic Impacts of New Generation from Wind, Coal and Natural Gas in Arizona, Colorado and Michigan. NREL/TP-200-37720. 2006.
  - Ten Raa . The Economics of Input-Output Analysis. Cambridge University Press. 2005
  - TER Assessing Environmental Externality Costs for Electricity Generation. 1995.
  - UN-Energy. The energy challenge for Achieving the MDG. United Nations. 2005.



## Anexo 1: Escenarios de penetración considerados en el estudio

[illegible]