

## ¿El biodiesel como alternativa sostenible?

Dr. José Manuel Cansino

Dr. José Manuel González-Limón

Dra. Rocío Yñiguez

Dra. María Teresa Sanz

*Universidad de Sevilla*

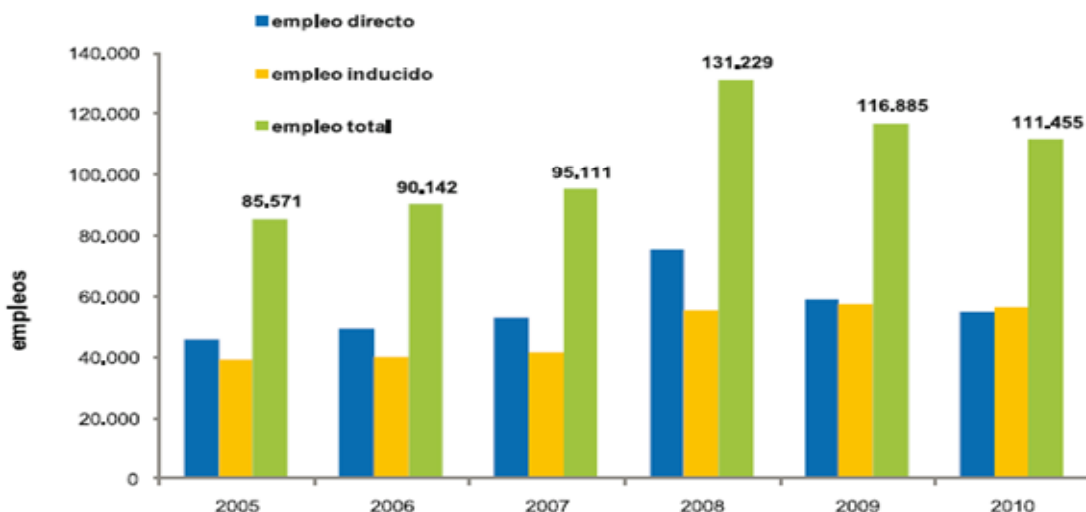
### 1.- Introducción.

El sector de las energías renovables en España es un sector en alza, son muchas las fuentes renovables, entre otras la energía solar fotovoltaica y la termoeléctrica, la energía marina, la biomasa, la eólica, la geotérmica y la que procede de los biocarburantes, que es el tema que nos ocupa.

La contribución de este sector al PIB nacional es de unos 10 mil millones de euros, lo que supone casi el 1%, en 2010, además en términos de empleo da cabida a más de 111 mil puesto de trabajo.

Gráfica 1

### Evolución de la contribución al empleo de las Energías Renovables en España



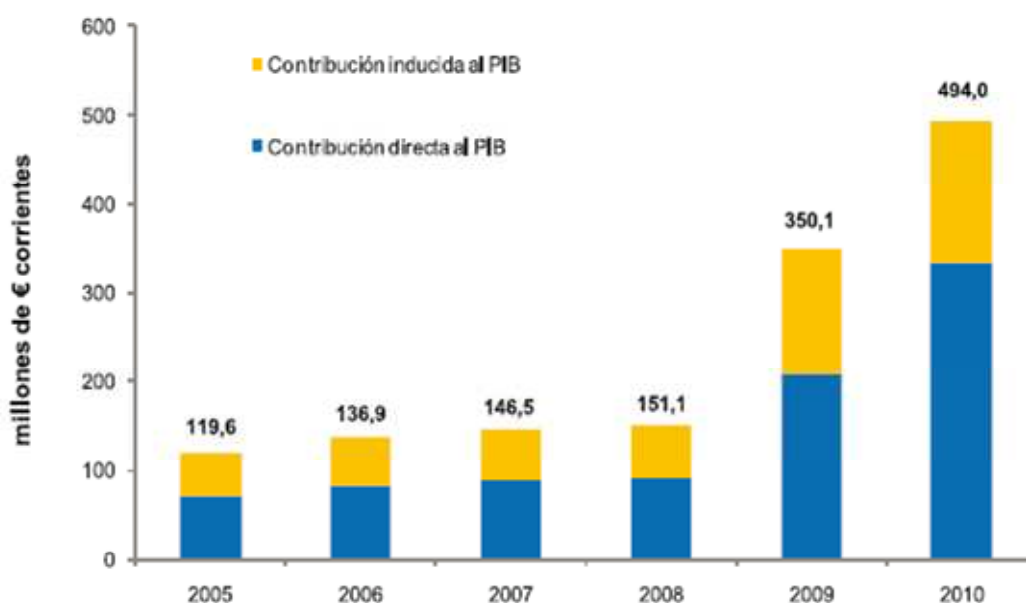
Fuente: APPA (2011)

Si bien esta cifra es menor que la del año anterior, puesto que se ha producido la destrucción de unos 5.000 empleos en este año, 2010. Este descenso que ya se había empezado a manifestar en 2009, es decir, que la cota de empleos máxima se produjo en 2008, debido principalmente al descenso de los empleo directos, como se observa en la gráfica 1, ya que los empleos indirectos se han mantenido constante en los últimos tres años.

Concretamente los biocombustibles han supuesto una contribución al PIB de 494 millones de €, para el año 2010, como se parecía en la gráfica 2, siendo la mayor parte de esta contribución directa.

Gráfica 2

Evolución de la contribución al PIB de los biocarburantes en España



Fuente: APPA (2011)

La reducción del volumen de emisión de gases de efecto invernadero (GEI) es una de las justificaciones para la promoción pública del uso de fuentes de energía renovables (RES). No obstante, con frecuencia escasean las investigaciones científicas que muestren el balance neto de emisiones de GEI cuando el uso más intensivo de algunas de las tecnologías de RES desplaza el uso de otra fuente de energía más contaminante.

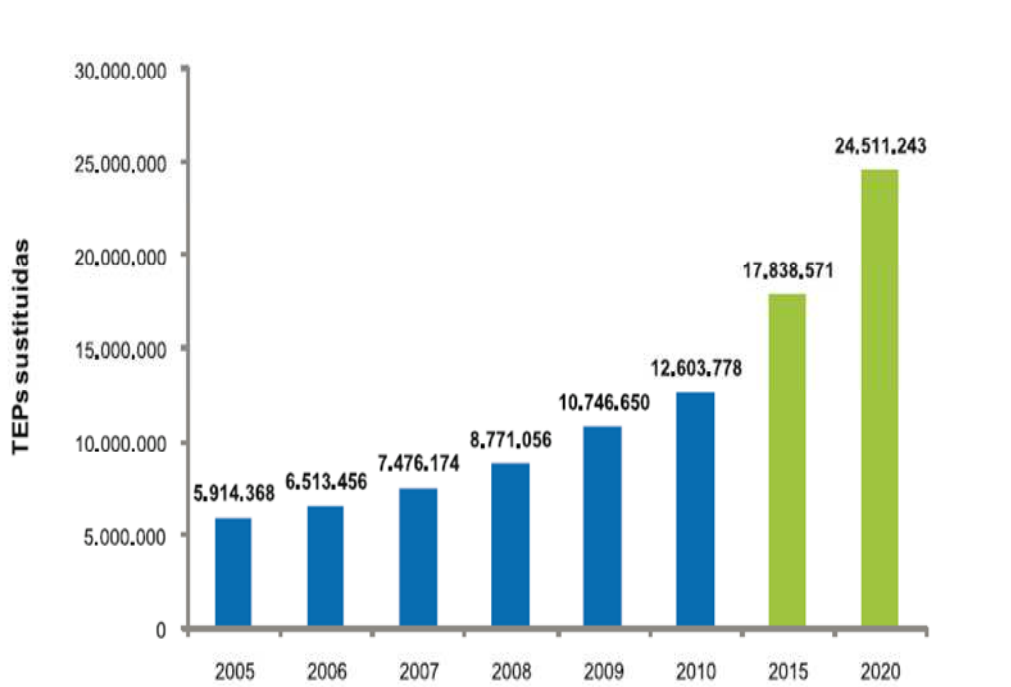
En la medida en la que el uso de las RES se beneficia de recursos públicos (Cansino *et al.* 2010, 2011 a y b), además de conocer su impacto en la reducción de emisiones de GEI, particularmente CO<sub>2</sub>, resulta relevante disponer de alguna estimación de la valoración económica de esa reducción (Vergara, 2009).

Esta información debe considerarse por el *policy maker* en el diseño de las políticas públicas (Greenspan y Callan, 2011). No obstante, a pesar de que el cambio climático de origen antropogénico puede considerarse como el mayor ejemplo de fallo del mercado (Stern, 2007), su complejidad dificulta las valoraciones económicas y su posterior toma en consideración por el *policy maker* (García-Fernández, 2006)

Si nos centramos en el sector del transporte, éste representa más del 30% del total de consumo de energía en la UE-27, depende en un 98% de combustibles fósiles y fue responsable del 20% de emisiones de CO<sub>2</sub> en 2009 (Eurostat, 2011).

En la gráfica 3 se aprecia la evolución ascendente de la sustitución de los combustibles fósiles en nuestro país y los objetivos para los próximos años.

Gráfica 3  
Evolución de la sustitución de combustibles fósiles en España



Fuente: APPA (2011)

En el caso de España, el sector del transporte es el principal consumidor de energía final, con el 40 % del consumo final total. Este volumen de consumo está principalmente basado en productos petrolíferos, concretamente en el año 2010 la automoción consume el 43,6% del total de productos petrolíferos, hecho que acentúa la elevada dependencia energética española.

Con el objetivo de cumplir sus obligaciones de reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>, las autoridades españolas han promovido el consumo de biocarburantes para el transporte.

El objetivo que nos planteamos al hacer esta investigación es doble. En primer lugar se estima la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> en España asociada a un mayor consumo de biodiesel en el transporte bajo la hipótesis de que el mayor consumo desplaza en igual cantidad el consumo del fósil diesel. La elección del biodiesel se fundamenta en su importancia cuantitativa.<sup>1</sup>

En segundo lugar se realiza una valoración económica de esta reducción. El año considerado es 2010 dado que éste era el año de referencia de la Directiva 2003/30. Para este segundo objetivo, se define el coste social del carbono, en términos marginales, como el valor monetario de los daños globales provocados por la emisión a la atmósfera de una tonelada adicional de CO<sub>2</sub> en algún momento del tiempo (Pearce, 2003).

La valoración del coste social del carbono ha generado un desarrollo prolífico de la literatura a partir de las contribuciones de Nordhaus (1991), Fankhauser (1995), Eyre *et al* (1997), Tol *et al* (2001), Clarkson y Deyes (2002), Pearce (2003), Watkiss *et al.* (2005) y Stern (2007). A pesar de que no existe consenso entre los expertos sobre la valoración correcta del coste social del carbono, este artículo ha tomado en cuenta los tres modelos que señala Ackerman y Stanton (2010): el Modelo PAGE, el Modelo DICE-RICE y el Modelo FUND.

---

<sup>1</sup> En 2010, el consumo de biocarburantes en las gasolinas ascendió a 362 kt mientras que el total de biocarburantes en gasóleos llegó a las 1350 kt (MITC, 2011, c).

## *2.- Marco normativo comunitario y nacional*

En 2005 el Plan de Acción sobre la Biomasa de la Unión Europea sobre biocombustibles estableció un triple objetivo para los biocarburantes: promover una mayor utilización de los biocarburantes en la Unión Europea (UE) y los países en desarrollo, preparar la utilización a gran escala de biocarburantes y desarrollar la cooperación con los países en desarrollo para la producción sostenible de biocarburantes. Este triple objetivo se articuló en torno a siete ejes políticos, uno de los cuales era la actuación en beneficio del medio ambiente. Por su parte, la Estrategia de la Unión Europea para los Biocombustibles (2006) señaló a estos como una fuente de energía renovable y alternativa a las fuentes de energía fósil utilizada en el transporte.

La mayor utilización de la energía procedente de RES, junto con el ahorro energético y una mayor eficiencia energética, constituyen una parte importante del paquete de medidas necesarias para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y para cumplir el Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, y otros compromisos comunitarios e internacionales, con vistas a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero más allá de 2012. Asimismo, estos factores pueden desempeñar un papel importante para fomentar la seguridad del abastecimiento energético (considerando 1, Directiva 2009/28).

La Directiva 2009/28/CE es parte del denominado Paquete Europeo de Energía y Cambio Climático, que establece las bases para que la UE logre sus objetivos para 2020: un 20% de mejora de la eficiencia energética, una contribución de las energías renovables del 20% y una reducción de las emisiones de GEI del 20%. También esta Directiva establece que cada Estado miembro velará por que la cuota de energía procedente de fuentes renovables en todos los tipos de transporte en 2020 sea como mínimo equivalente al 10% de su consumo final de energía en el transporte. Este objetivo tiene un carácter vinculante, produciéndose un cambio importante en la política europea en este campo, puesto que hasta este momento este objetivo era de carácter indicativo y estaba fijado en el 5,75% para 2010 (Directiva 2003/30).

El desarrollo de las energías renovables constituye una apuesta prioritaria de la política energética española, ya que conlleva efectos favorables de diversa índole como:

un desarrollo sostenible, la reducción en las emisiones contaminantes, la introducción de nuevas tecnologías, la reducción de la dependencia energética y del déficit de la balanza comercial y el aumento del nivel de empleo y desarrollo rural (R.D. 1738/2010).

La disposición adicional decimosexta de la Ley 12/2007, de 2 de julio, del sector de hidrocarburos, establece objetivos anuales de biocarburantes y otros combustibles renovables con fines de transporte hasta el año 2010, objetivos que son obligatorios a partir del año 2009, y alcanzan el 5,83% en 2010 (por encima del 5,75%, fijado en la Directiva 2003/30).

La promoción de biocarburantes en España se basa en dos pilares; el incentivo fiscal (tipo cero del Impuesto Especial sobre Hidrocarburos) vigente hasta finales de 2012, y el establecimiento de cuotas obligatorias a la comercialización de biocarburantes<sup>2</sup>.

La Orden ITC/2877/2008, de 9 de octubre, por la que se establece un mecanismo de fomento del uso de biocarburantes y otros combustibles renovables con fines de transporte, establece objetivos mínimos por producto hasta el año 2010, alcanzando dicho año el 3,9%, tanto para gasolinas como para gasóleos, junto con el mencionado objetivo global del 5,83% en 2010.

Este objetivo del 5,83% fue actualizado de forma excepcional, atendiendo a la evolución del mercado de biocombustibles, al 4,78% en la Resolución de 7 de enero de 2011 de la Secretaría de Estado de Energía, en virtud del uso de la habilitación conferida por el artículo 11.4 de la Orden ITC/2877/2008.

---

<sup>2</sup> Junto a estos dos tipos de medidas debe tenerse en cuenta la normativa sobre calidad de los carburantes contenida en el Real Decreto 1088/2010.

### 3.- Metodología y base de datos

#### 3.1.- Metodología

Para estimar el ahorro de emisiones de CO<sub>2</sub> se ha seguido la metodología “Análisis del ciclo de vida del biodiésel” de CIEMAT (2006). Esta metodología analiza los diferentes procesos de producción, distribución y uso del biodiésel procedente de semillas oleaginosas, de aceites usados y del diésel fósil. El análisis está basado en normas internacionales UNE-EN ISO 14040-43. Para CIEMAT (2006) esta metodología es la más recomendable para el caso español.

La estimación de ahorro de emisiones realizadas diferencia entre biodiésel nacional y de importación. El origen y porcentaje de los aceites empleados en la producción de biodiésel nacional es variable. Se ha utilizado la mezcla considerada por CIEMAT (2006) y compuesta por aceite de soja importada (40%), aceite de girasol de producción nacional (10%), aceite de palma importado (25%) y aceite de colza (25%). En el caso de esta última materia prima, el 5% es de producción nacional y un 95% importada.

Para la valoración económica del ahorro de emisiones, se consideran las estimaciones de los Integrated Assessment Models que intentan estimar determinados rangos en valoración del coste social del carbono (Mastandrea, 2009).

Aunque existen numerosos modelos, en la actualidad los más importantes son los tres modelos señalados por Ackerman (2010); el Modelo PAGE (Policy Analysis of the Greenhouse Effect), el Modelo DICE-RICE (Dynamic Integrated Model of Climate and the Economy-Regional Dynamic Integrated Model of Climate and the Economy) y el Modelo FUND (Climate Framework for Uncertainty, Negotiation and Distribution). El Modelo PAGE ha evolucionado desde el PAGE2002 (Hope 2008 y 2009) al PAGE09 (Hope y Watkiss, 2010, Hope 2011). El método valora tanto los impactos tangibles como los intangibles y permite la evaluación de los impactos provocados por eventos climáticos extremos para incrementos importantes de la temperatura. Este modelo ha sido uno de los más representativos, puesto que fue tomado como base para el debatido *Stern Review* (Stern, 2007).

La versión más avanzada del Modelo DICE-RICE (Nordhaus and Boyer, 2000; Nordhaus, 2008) es actualmente la DICE-2007 (Nordhaus, 2008). Este modelo evalúa impactos tangibles en sectores de mercado y de no-mercado e incluye las evaluaciones de los impactos de eventos climáticos extremos.

La versión más actualizada del Modelo FUND (Tol, 2002 y 2006) es el FUND3.7 (Anthoff *et al.*, 2011; Tol, 2009). Este tercer modelo parte de un conjunto de escenarios exógenos y perturbaciones endógenas específicas para las regiones consideradas. Evalúa impactos tangibles e intangibles, así como la mortalidad por enfermedades inducidas y cambios de temperatura. El tratamiento de incertidumbres se realiza aplicando el método de Monte Carlo.

### 3.2.- Base de datos

La Tabla 1 muestra los datos de kilómetros recorridos según el porcentaje de consumo de biodiesel para el año 2010. Estos datos han sido calculados en función del consumo real de carburantes en España en ese año para el transporte, que ascendió a 30.805 kt<sup>3</sup>.

Se han considerado tres escenarios. El primero (columna 2) corresponde a un consumo de biocarburantes del 5,83% sobre el total de carburantes consumidos en el transporte<sup>4</sup>. Este porcentaje se ha distribuido según establece la Orden ITC/2877/2008 entre biodiesel (3,90%) y bioetanol (3,90 %). Esta orden deja libertad a las empresas distribuidoras en el resto del biocarburante distribuido en el mercado español hasta alcanzar el objetivo de 5,83%. El segundo escenario considerado es el 5,75% (columna 3). Este es el porcentaje que establece la Directiva 2003/30/CE para España. El tercer escenario es el 4,78% (columna 4) y corresponde al mínimo establecido en la Resolución de 7 de enero de 2011 de la Secretaria de Estado de Energía. Por último, la columna 4 incluye los datos del consumo efectivo de biodiesel en el transporte para el año 2010.

---

<sup>3</sup> MITC (2010, b).

<sup>4</sup> Este era el objetivo fijado en la Ley 12/2007.



En todos los escenarios considerados en la Tabla 1 se diferencia entre biodiesel de importación y nacional. El biodiesel importado en 2010 ha supuesto el 61% del total consumido en España. El 53% de las importaciones consiste en biodiesel puro de soja procedente de Argentina y el 24% corresponde a biodiesel puro de palma de Indonesia (APPA, 2011). Al no disponer de los datos desagregados sobre el 23% restante de las importaciones de 2010, se han estimado asignándolas entre los dos países en función de su peso relativo<sup>5</sup>.

Para realizar el cálculo de los kilómetros recorridos se han utilizado las equivalencias de densidad y consumo de litros/km que proporciona CIEMAT (2006). Se ha diferenciado entre importaciones y consumo de producción nacional. Para la producción nacional se ha diferenciado entre dos escenarios posibles, según si el biodiésel es producido con la mezcla de aceites nuevos –caso A– o si el biodiesel está producido con aceite usado–caso B–.

Tabla 1. Km recorridos según porcentaje de consumo de biodiesel considerado.

	Km recorridos según % de consumo de biodiesel			
	5,83%	5,75%	4,78%	Consumo efectivo
TOTAL IMPORTACIÓN	17.669.748.803	17.427.284.601	14.487.406.146	16.278.133.255
SOJA	12.209.796.423	12.042.253.659	10.010.797.647	11.248.190.079
PALMA	5.459.952.380	5.385.030.942	4.476.608.499	5.029.943.176
TOTAL NACIONAL				
TOTAL SI ACEITE NUEVO	11.297.052.513	11.142.034.417	9.262.439.995	10.407.331.098
TOTAL SI ACEITE USADO	11.414.459.374	11.257.830.221	9.358.701.741	10.515.491.352
TOTAL GENERAL				
CASO A) IMPORTACIÓN + NACIONAL NUEVO	28.966.801.316	28.569.319.017	23.749.846.141	26.685.464.353
CASO B) IMPORTACIÓN + NACIONAL USADO	29.084.208.177	28.685.114.822	23.846.107.887	26.793.624.607

Fuente: Elaboración propia a partir de CIEMAT (2006), MITC (2010, b) y Euroserver (2011)

<sup>5</sup> Para los primeros meses de 2011 el 90% de las importaciones de biodiesel procede de estos dos países (APPA, 2011).

### 3.- *Discusión y resultados*

La Tabla 2 muestra el ahorro de emisiones de CO<sub>2</sub> asociado a cada uno de los escenarios considerados 5,83%, 5,75%, 4,78% y consumo efectivo, respectivamente. Este cálculo se ha realizado en base a la comparación entre las emisiones que proceden del consumo de biodiesel en cada escenario y las emisiones que se producirían si el consumo fuera diesel fósil<sup>6</sup>.

Para las estimaciones del ahorro total de emisiones de CO<sub>2</sub> se han considerado los dos casos (A y B) descritos en el apartado anterior. Estas estimaciones aparecen en las dos últimas filas de la Tabla 2 para cada uno de los cuatro escenarios considerados.

Tabla 2. Ahorro de emisiones de CO<sub>2</sub> según el porcentaje de consumo de biodiesel considerado (Tm).

Ahorro emisiones de CO2 según % de consumo Tm				
	5,83%	5,75%	4,78%	Consumo efectivo
TOTAL IMPORTACIÓN	2.351.214	2.318.951	1.927.758	2.166.040
SOJA	1.809.557	1.784.727	1.483.654	1.667.042
PALMA	541.657	534.224	444.104	498.997
TOTAL NACIONAL				
TOTAL SI ACEITE NUEVO	1.571.029	1.549.471	1.288.085	1.447.299
TOTAL SI ACEITE USADO	1.837.654	1.812.437	1.506.690	1.692.926
TOTAL GENERAL				
CASO A) IMPORTACIÓN + NACIONAL NUEVO	3.922.243	3.868.422	3.215.842	3.613.339
CASO B) IMPORTACIÓN + NACIONAL USADO	4.188.868	4.131.388	3.434.448	3.858.965

Fuente: Elaboración propia a partir de CIEMAT (2006), MITC (2010, b) y Euroserver (2011)

<sup>6</sup> Los coeficientes de densidad, consumo y emisiones de CO<sub>2</sub>, empleados pertenecen al Diesel EN-590, combustible empleado por CIEMAT (2006) en su análisis.

Los resultados de la Tabla 2 resultan similares a la estimación de ahorro de emisiones de CO<sub>2</sub> que se expone en el Plan de Energías Renovables 2011-2020 (Consejo de Gobierno de España, 2011) para el año 2010 que asciende a 3.710.418 Tm CO<sub>2</sub>/año. Este valor se encuentra dentro del intervalo que marcan los dos casos considerados en nuestro estudio respecto al consumo de la producción nacional de biodiesel (aceite nuevo y aceite usado, reflejados en las dos últimas casillas de la columna cinco de la tabla anterior).

La Tabla 3 muestra los resultados de la valoración económica del ahorro a partir de tres estimaciones diferentes en magnitud; un valor reducido, un valor intermedio y un valor elevado.

El Interagency Working Group on Social Cost of Carbon –IWG- (2010) realiza su estimación<sup>7</sup> utilizando los modelos PAGE, DICE-RICE y FUND, arrojando un rango de valores que varía entre 5 y 65 \$, con un valor central de 21 \$ para el año 2010. La tasa de descuento que utilizan es del 3%, la misma que usa el modelo FUND. Se trata de la estimación que arroja un menor valor<sup>8</sup>.

La estimación de Stern<sup>9</sup> (2007) se basa en el PAGE 02 y ofrece un intervalo de valores entre 41 y 124 \$, con un valor central<sup>10</sup> de 85 \$ y una tasa de descuento del 1,4%. Ackerman y Stanton (2011) utilizan una versión modificada del DICE e introducen cuatro áreas principales de incertidumbre que afectan al cálculo: sensibilidad del clima a los GEI, nivel de daños esperado a bajas temperaturas, nivel de daños esperado a altas temperaturas y la tasa de descuento. En su estudio consideran dieciséis

---

<sup>7</sup> Una valoración crítica de las conclusiones del IWG (2010) se encuentran en Ackerman y Stanton (2010) y Ackerman (2011).

<sup>8</sup> No obstante, es posible encontrar en la literatura especializada valoraciones menores. Es el caso de la realizada por Nordhaus (2011) utilizando el modelo RICE-2011 con un resultado de 12\$ por tonelada de CO<sub>2</sub>.

<sup>9</sup> En este caso se trata de una valoración similar a la manejada el Gobierno Británico (Climate Change Economics, Dept. of Energy and Climate Change, 2009) de 83\$ como valor central y no muy alejada de la ofrecida por Hope (2011) a partir del Modelo PAGE09. En este último caso la valoración es de 100\$/Tm, en valores de 2010.

<sup>10</sup> Este valor se ha ajustado en el PAGE 09 a 100 \$ del año 2010.

valores para la Tm de CO<sub>2</sub> para un periodo de tiempo que va desde 2010 a 2050. El primero el de 893 \$ y es el que se ha considerado en este artículo.

Tabla 3. Valoración económica del ahorro de emisiones de CO<sub>2</sub>.

Valoración económica del ahorro de emisiones de CO <sub>2</sub> en dólares			
	IWG (2010)	STERN (2007)	ACKERMAN Y STANTON (2011)
Objetivo 5,83 %			
Caso A	82.367.098	431.446.704	3.502.562.791
Caso B	87.966.221	460.775.444	3.740.658.831
Objetivo 5,75 %			
Caso A	81.236.857	425.526.395	3.454.500.642
Caso B	86.759.149	454.452.686	3.689.329.529
Objetivo 4,78 %			
Caso A	67.532.686	353.742.643	2.871.747.090
Caso B	72.123.401	377.789.241	3.066.961.751
Consumo Efectivo			
Caso A	75.880.117	397.467.277	3.226.711.623
Caso B	81.038.270	424.486.175	3.446.055.945

Fuente: Elaboración propia a partir de IWG (2010), Stern (2007) y Ackerman y Stanton (2011).

Dado que las emisiones totales de CO<sub>2</sub> del sector de transporte por carretera en España en 2010 fueron de 84.399 kt de CO<sub>2</sub> eq (MMARM), el ahorro de emisiones varía entre un rango que va del 0,38 % (correspondiente al escenario del 4,78% y al caso A) al 0,49% (correspondiente al escenario del 5,83% y al caso B).

El ahorro de emisiones disminuye a medida que se reduce el porcentaje obligatorio de consumo de biocarburante. Este ahorro de emisiones es superior en más de un 6% en el caso de que el biocarburante consumido proceda de aceite usado.

El ahorro de emisiones de CO<sub>2</sub> ha sido un 8,5% menor que el que se hubiera logrado si se hubiera cumplido el objetivo del 5,83% fijado en un primer momento por el Gobierno español.

La columna 5 de la Tabla 2 muestra que el ahorro de emisiones de CO<sub>2</sub> asociada al consumo efectivo (1349,58 kt) fue mayor al asociado a la hipótesis de 4,78% (1201,12 kt) que muestra la columna 4 de la citada tabla, superándose este objetivo.

La valoración económica más reducida de las emisiones de CO<sub>2</sub> se da para el objetivo del 4,78% y caso A (67.532.686,32 \$ -IWG, 2010-; 321.584.220,55 \$ -Stern, 2007- y 2.871.747.089,56 \$ -Ackerman y Stanton, 2011) y la más elevada para el objetivo del 5,83% y el caso B (87.966.221,10 \$ -IWG, 2010-; 418.886.767,15 \$ -Stern, 2007- y 3.740.658.830,68 \$ -Ackerman y Stanton, 2011).

Esta investigación permite también estimar cuál es el coste fiscal de cada Tm de CO<sub>2</sub> que deja de emitir por utilizar biodiesel en lugar de diesel fósil. El coste fiscal se mide en términos de una menor recaudación impositiva debido a que el biodiesel está exento del pago del Impuesto Especial de Hidrocarburos. Para 2010 dicho coste ascendió<sup>11</sup> a 548.136.332 €. A partir de la Tabla 2, la cifra anterior permite calcular el coste fiscal de reducir una Tm de CO<sub>2</sub> como consecuencia de utilizar biodiesel en el transporte en lugar de diesel. Dicho coste asciende a 0.6 cts € (caso A) y de 0.7 cts € (Caso B).

#### 4.- Conclusiones

Los objetivos de consumo obligatorio de biodiesel en el transporte establecidos por la Directiva 2003/30 y la propia normativa española han logrado una reducción muy pequeña de las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. En el escenario más favorable la reducción se ha limitado al 0,49% del total de emisiones generadas por el sector del transporte.

No todas las materias primas utilizadas en la producción de biodiesel generan el mismo ahorro de emisiones. Por esa razón entendemos que no todas deben recibir las mismas medidas de promoción. Particularmente el uso de rebajas impositivas para incentivar el consumo de biocarburantes junto con el sistema de certificados de sostenibilidad, permiten la discriminación a favor del uso de las materias primas menos contaminantes.

El coste fiscal de cada Tm no emitida también ha sido reducido, no superando los 0.7 cts €/Tm.

---

<sup>11</sup> La exención del biodiesel del pago del IEH afecta también a la recaudación del VAT pues el IEH se incluye en la base imponible del VAT (Cansino *et al.*, 2007). Para el cálculo se ha considerado el consumo efectivo de biodiesel en 2010 ofrecido por Euroserver (2011); 1.513.102.004 litros. El IEH representó en promedio 0.307 céntimos de € al que hay que añadir el tipo impositivo del VAT -18 %- (Asociación Española de Operadores de Productos Petrolíferos, 2011).

La valoración económica más reducida de las emisiones de CO<sub>2</sub> se da para el objetivo de consumo de 4,78% del total de carburante utilizado en el transporte y mezcla con aceite nuevo (67.532.686,32 \$ -IWG, 2010-; 321.584.220,55 \$ -Stern, 2007- y 2.871.747.089,56 \$ -Ackerman y Stanton, 2011) y la más elevada para el objetivo del 5,83% y mezcla con aceite usado (87.966.221,10 \$ -IWG, 2010-; 418.886.767,15 \$ -Stern, 2007- y 3.740.658.830,68 \$ -Ackerman y Stanton, 2011).

Como el artículo pone de manifiesto, no existe consenso entre los expertos sobre la valoración del coste social del carbono. Ello se debe a la diferente metodología utilizada, la consideración o no de criterios de equidad y las tasas de descuento utilizadas en cada caso. Por todo ello, las valoraciones económicas de la reducción de CO<sub>2</sub> asociadas al mayor consumo de biodiesel, deben tomarse como una medida de referencia, y que a día de hoy están en pleno debate.

#### 5.- Referencias

Ackerman, F., 2010. Memo for EPA/DOE Workshop on IAMs and SCC Estimates, November 18-19. Available at [http://sei-us.org/Publications\\_PDF/SEI-Ackerman-Critique-of-Damage-Estimates-2010.pdf](http://sei-us.org/Publications_PDF/SEI-Ackerman-Critique-of-Damage-Estimates-2010.pdf).

Ackerman, F., Stanton, E., 2010. The Social Cost of Carbon. Economics for Equity and the Environment Network.

Ackerman y Stanton, E., 2011. Climate risk and carbón prices: revising the social cost of carbón 2011.

Anthoff, D, Rose, S. Tol, R.S.J., Waldhoff, S., 2011. The Time Evolution of the Social Cost of Carbon: An Application of Fund. Economics: The Open-Access, Open-Assessment E-Journal. Discussion Paper No. 2011-44.

Appa, 2011. Informe de 14 de junio de 2011 de la sección de biocarburantes, [http://www.appa.es/descargas/NP-Denuncia Presiones Argentina Orden Biodiesel-Junio\\_2011.pdf](http://www.appa.es/descargas/NP-Denuncia_Presiones_Argentina_Orden_Biodiesel-Junio_2011.pdf). Consultado el 8/11/2011.

Asociación Española de Operadores de Productos Petrolíferos, 2011. Composición del precio de los carburantes. Disponible en [www.aop.es](http://www.aop.es)

Cansino, J. M., Cardenete, M. A. y Román, R., 2007. Regional evaluation of a tax on the retail sales of certain fuels through a social accounting matrix. Applied Economics Letters, 14, 877-880.

Cansino, J. M., M. Ordoñez, 2008. Impuestos Pigouvianos e Incentivos Fiscales para el Fomento de Energías renovables en España: Análisis Panorámico. Actas de la XXXIV Reunión de Estudios Regionales. XXXIV Reunión de Estudios Regionales. Baeza. Asociación Española de Ciencia Regional. 1-10.

Cansino, J. M., Pablo-Romero, M. P., Román, R., Yñiguez, R. 2010. Tax incentives to promote green electricity: An overview of EU-27 countries. *Energy Policy*, 38(10), 6000-6008.

Cansino, J. M., Pablo-Romero, M. P., Román, R., Yñiguez, R. 2011, a. Promoting renewable energy sources for heating and cooling in EU-27 countries. *Energy Policy*, 39 (6), 3803-3812.

Cansino, J.M., Pablo-Romero, M. P., Román, R., Yñiguez, R. 2011, b. Taxes Incentives to Promote Res Deployment: The Eu-27 Case in Majid Nayeripour and Mostafa Kheshti (eds) *Sustainable Growth and Applications in Renewable Energy Sources*. InTech, December.

Ciemat, 2006. Análisis del ciclo de la vida de combustibles alternativos para el transporte. Fase II. Análisis de ciclo de vida comparativo del biodiésel y del diésel.

Available at:

[http://www.energiasrenovables.ciemat.es/adjuntos\\_documentos/Analisis%20de%20Ciclo.%20biodiesel.pdf](http://www.energiasrenovables.ciemat.es/adjuntos_documentos/Analisis%20de%20Ciclo.%20biodiesel.pdf). Consultado el 8/11/2011

Clarkson, R., Deyes K., 2002. Estimating the Social Cost of Carbon Emissions H.M. Treasury. DEFRA, Government Economic Service.,U.K.

Climate Change Economics, Dept. of Energy and Climate Change, 2009 Carbon Valuation in UK Policy Appraisal: A Revised Approach.

Consejo de Gobierno de España, (2011). Acuerdo sobre el Plan de energía renovable (PER) 2011-2020, aprobado el 11 de noviembre de 2011.

Euroobserver, 2011. Biofuels barometer. *Le journal des energies renouvelables*, nº 204: 68-93.

Eurostar, 2011. Available at.

<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/sdi/indicators/theme6>

Eyre, N., Downing, T., Hoekstra, R., rennings, K., Tol, T., 1997. Global Warming Damages, Final Report of the Externe Global Warming Sub-Task, DGXII, European Comission, Brussels.

Fankhauser, S., 1995. Valuing Climate Change. The economics of the Greenhouse. Earthscan. London.

Garcia Fernandez, C.,2006. El análisis coste-beneficio y la dificultad de su aplicación al cambio climático. Estudios de Economía Aplicada. Vol. 24-2. 751-762

Greenspan, R y Callan, D., 2011. More than Meets the Eye The Social Cost of Carbon in U.S. Climate Policy, in Plain English. Policy Brief. Environmental Law Institute and World Resource Institute.

Hope, C., 2008 Optimal carbon emissions and the social cost of carbon over time under uncertainty. The Integrated Assessment Journal. Bridging Sciences and Policy, vol 8: 107-122

Hope, C (2009). En Martin Parry, Nigel Arnell, Pam Berry, David Dodman, Samuel Fankhauser,Chris Hope, Sari Kovats, Robert Nicholls, David Satterthwaite, Richard Tiffin, Tim Wheeler, 2009. Assessing the Costs of Adaptation to Climate Change: A Review of the UNFCCC and Other Recent Estimates, International Institute for Environment and Development and Grantham Institute for Climate Change, London.

Hope, C (2011). The Social Cost of CO2 from the PAGE09 Model. Economics: The Open-Access, Open-Assessment E-Journal. Discussion Paper No. 2011-39.

Hope, C., WatkisS, P. (2010). The PAGE09 Integrated Assessment Model. Climate Cost. Policy Brief nº 4.

[http://www.climatecost.cc/images/Policy\\_brief\\_4\\_PAGE09\\_Model\\_vs\\_2\\_watermark.pdf](http://www.climatecost.cc/images/Policy_brief_4_PAGE09_Model_vs_2_watermark.pdf).

Interagency Working Group on Social Cost of carbon (IWG), 2010. Appendix 15A. Social Cost of Carbon for Regulatory Impact Analysis under Executive Order 12866. Final Rule Technical Support Document (TSD): Energy Efficiency Program for Commercial and Industrial Equipment: Small Electric Motors. U.S. Department of Energy. Washington, DC, U.S. Department of Energy.

Jefatura del Estado,2007. Ley 12/2007, de 2 de julio, por la que se modifica la Ley 34/1998, de 7 de octubre, del Sector de Hidrocarburos, con el fin de adaptarla a lo dispuesto en la Directiva 2003/55/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de junio de 2003, sobre normas comunes para el mercado interior del gas natural, BOE nº158 de 3 de julio de 2007.

Mastrandrea, M., 2009. Calculating the Benefits of Climate Policy: Examining the Assumptions of Integrated Assessment Models. Pew Center on Global Climate Change.

Ministerio de Industria,Turismo y Comercio, 2008. ORDEN ITC/2877/2008, de 9 de octubre, por la que se establece un mecanismo de fomento del uso de biocarburantes y



otros combustibles renovables con fines de transporte, BOE nº 248 de 14 de octubre de 2008.

Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2010a. Real Decreto 1738/2010, de 23 de diciembre, por el que se fijan objetivos obligatorios de biocarburantes para los años 2011, 2012 y 2013, BOE nº 312, de 24 de diciembre de 2010.

Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2010b. Boletín estadístico de Hidrocarburos, diciembre, nº157. Cores.

[http://www.cores.es/pdf/Resumen\\_BEH\\_Cores\\_2010.pdf](http://www.cores.es/pdf/Resumen_BEH_Cores_2010.pdf), consultado el 8/11/2011.

Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (MITC). 210c. Plan de Acción Nacional de Energías Renovables para España (2011-2020). <http://www.minetur.gob.es>

Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (MITC), 2010 d. Real Decreto 1088/2010, de 3 de septiembre, por el que se modifica el Real Decreto 61/2006, de 31 de enero, en lo relativo a las especificaciones técnicas de gasolinas, gasóleos, utilización de biocarburantes y contenido de azufre de los combustibles para uso marítimo. BOE nº215, de 4 de septiembre de 2010.

Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (MITC), 2011. Informe resumen anual del Boletín Estadístico de Hidrocarburos 2010. Available at [www.cores.es](http://www.cores.es)

Ministerio Medio Ambiente, Rural y Marino (MMARM), 2010. Avance de la estimación de emisiones GEI. Available at [http://www.marm.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-Avance\\_Inventario\\_Emissiones\\_GEI\\_2010\\_tcm7-162704.pdf](http://www.marm.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-Avance_Inventario_Emissiones_GEI_2010_tcm7-162704.pdf)

Nordhaus, W.D. 1991. To slow or not to slow: The Economics of greenhouse effect. The Economic Journal. 101. 920-937

Nordhaus, W, y Boyer, J. 2000. Warming the World: Economic Modeling of Global Warming, MIT Press. Cambridge, Mass.

Nordhaus, W. 2008. A Question of Balance Weighing the Options on Global Warming Policies. Yale Univ. Press. New Haven and London.

Nordhaus, W. 2011. Estimates of the social cost of carbon: background and results from the rice-2011 model. Cowles foundation for research in economics Yale University. Discussion paper no. 1826.

Pearce, D. 2003. The social cost of carbon and its policy implications. Oxford Review of Economic Policy 19, 3.

Parlamento Europeo y Consejo Europeo, 2003. Directiva 2003/30/CE de 8 de mayo de 2003, relativa al fomento del uso de biocarburantes u otros combustibles renovables en el transporte, Diario Oficial L123/42 de 17.5.2003

Parlamento Europeo y Consejo Europeo, 2009. Directiva 2009/28/CE de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE, Diario Oficial L140/16 de 5.6.2009.

Stern, N., 2007. *The Economics of Climate Change: The Stern Review*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK.

Tol, R.S.J., Downing T.E., Fankhauser S., Richels R.G. and Smith J.B. 2001. Progress in Estimating the Marginal Costs of Greenhouse Gas Emissions, FNU-4. *Pollution Atmosphérique* – Numéro Spécial: Combien Vaut l’Air Propre?, 155-179. “

Tol, R.S.J., 2002. Welfare specifications and optimal control of climate change: an application of fund, *Energy Economics*, 24, 367-376

Tol, R.S.J., 2006. Multi-Gas Emission Reduction for Climate Change Policy: An Application of FUND, *Energy Journal (Multi-Greenhouse Gas Mitigation and Climate Policy Special Issue)*, 235-250.

ToL, R.S.J., (2009). The Economic Effects of Climate Change, *Journal of Economic Perspectives*, 23, (2), 29-51.

Vergara, J.M., (dir.) 2009. *El cambio climático: análisis y política económica. Una introducción*. La Caixa, Servicio de Estudios. Barcelona.

Watkiss, P., Downing, T., Handley, C., Butterfield, R 2005. *The Impacts and Costs of Climate Change*. Prepared as task of the project: “Modelling support for Future Actions-Benefits and Cost of Climate Change Policies and Measures”. ENV.C.W/2004/0088. Commissioned by European Commission DG Environment.

Wiesenthal, T, Leduc, G, Christidis, P, Schade, B, Pelkmans, L, Govaerts, L, Georgopoulos, P.,2009. Biofuel support policies in Europe: Lessons learnt for the long way ahead. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 13, Issue 4, 789-800.