

De biocarburantes y normativas

Rafael Larraz Mora

Responsable de Ingeniería Corporativa de CEPSA

Introducción

Si miramos al pasado y a las sucesivas transiciones energéticas vemos que la industria del petróleo comenzó en 1859, pero se necesitó más de un siglo para que el carbón dejara de ser la principal fuente de energía, este a su vez representaba un 5% del consumo energético en 1840 y su crecimiento fue lento hasta 1900 en que representaba el 50% del suministro energético, compartiendo el liderazgo con combustibles tan exóticos como el aceite de ballena. En general la historia nos dice que las transiciones energéticas son un fenómeno lento y también que habitualmente las fuentes de energía precedentes no desaparecen, sino que se mantienen en nichos de consumo en cantidades considerables, por ejemplo el petróleo hacia 1960 era la principal fuente de energía sobrepasando al carbón, pero desde entonces el consumo de carbón se ha triplicado a pesar de ser una fuente secundaria de energía.

En el pasado las transiciones de una fuente de energía a otra se han debido a la aparición de nuevas tecnologías, mejores precios y menores costes de la energía y a menudo a políticas en las que se que-

ría asegurar el suministro. Hoy en día es el cambio climático el que está provocando la transición de fuentes energéticas de bajo coste hacia energías, de momento con un mayor coste, pero buscando reducir la emisión gases de efecto invernadero (GEI). La diferencia en costes se cubre mediante diferentes modalidades de subsidios, incentivos y normativas, hasta que las inversiones en investigación y desarrollo permitan mejorar y abaratar las nuevas formas de generar energía.

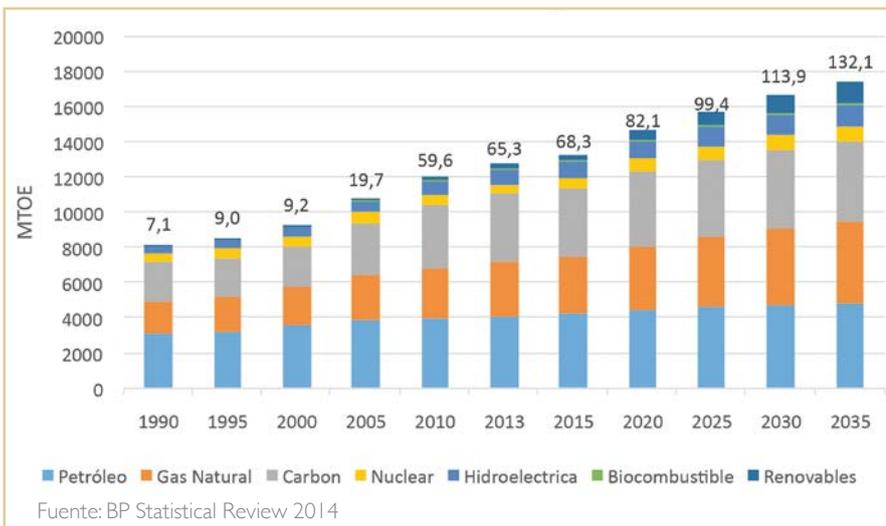
Los biocarburantes son una de estas energías renovables y se definen como combustibles aptos para su uso en motores de combustión interna, que han sido producidos a partir de biomasa obtenida mediante procesos biológicos, en general son una mezcla de compuestos orgánicos con un alto contenido en oxígeno. Su uso se justifica mediante la hipótesis de que el contenido en carbono de la biomasa proviene de la fotosíntesis y en consecuencia al quemarse y emitir dióxido de carbono a la atmósfera el balance neto de carbono es neutro. Esta última afirmación está sujeta a debate, y existe toda una bibliografía a favor y en contra sobre el resultado neto del balance de carbono.

A lo largo de este trabajo vamos a exponer de forma sucinta la política regulatoria europea y en concreto el Real Decreto 1085/2015 publicado en diciembre de 2015 por el que se fijan los objetivos para biocarburantes en 2020. En la última parte del artículo discutiremos algunas propuestas sobre los biocarburantes necesarios para cumplir lo indicado en el Real Decreto de Biocarburantes.

Los Biocarburantes

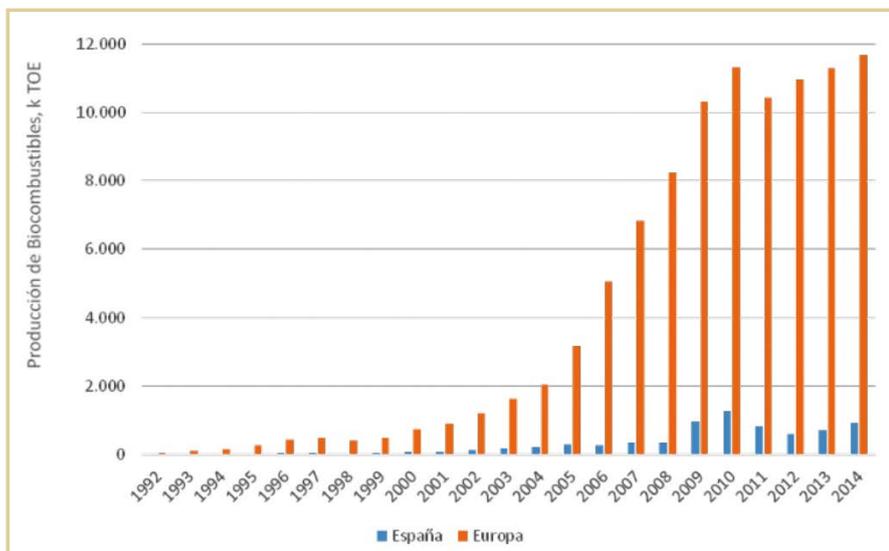
Aproximadamente el 20% del consumo mundial de energía se emplea en el transporte, 2413 millones de Toneladas de Petróleo Equivalente (TOE) en 2015. Los biocarburantes son una de las formas de energía para el transporte que mayor auge ha conocido en los últimos años debido al soporte gubernamental y a su contribución para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, diversificar el suministro de energía y en algunos países asegurar dicho suministro.

La producción mundial de biocarburantes se sitúa en el entorno de los 68 millones de TOE, aproximadamente el 1,5% del consumo mundial de petróleo. El 75% del biocar-

Figura 1. Fuente BP Statistical Review 2015

En Europa la producción es de 11,6 millones de TOE al año y España contribuye con 0,938 millones de TOE al año.

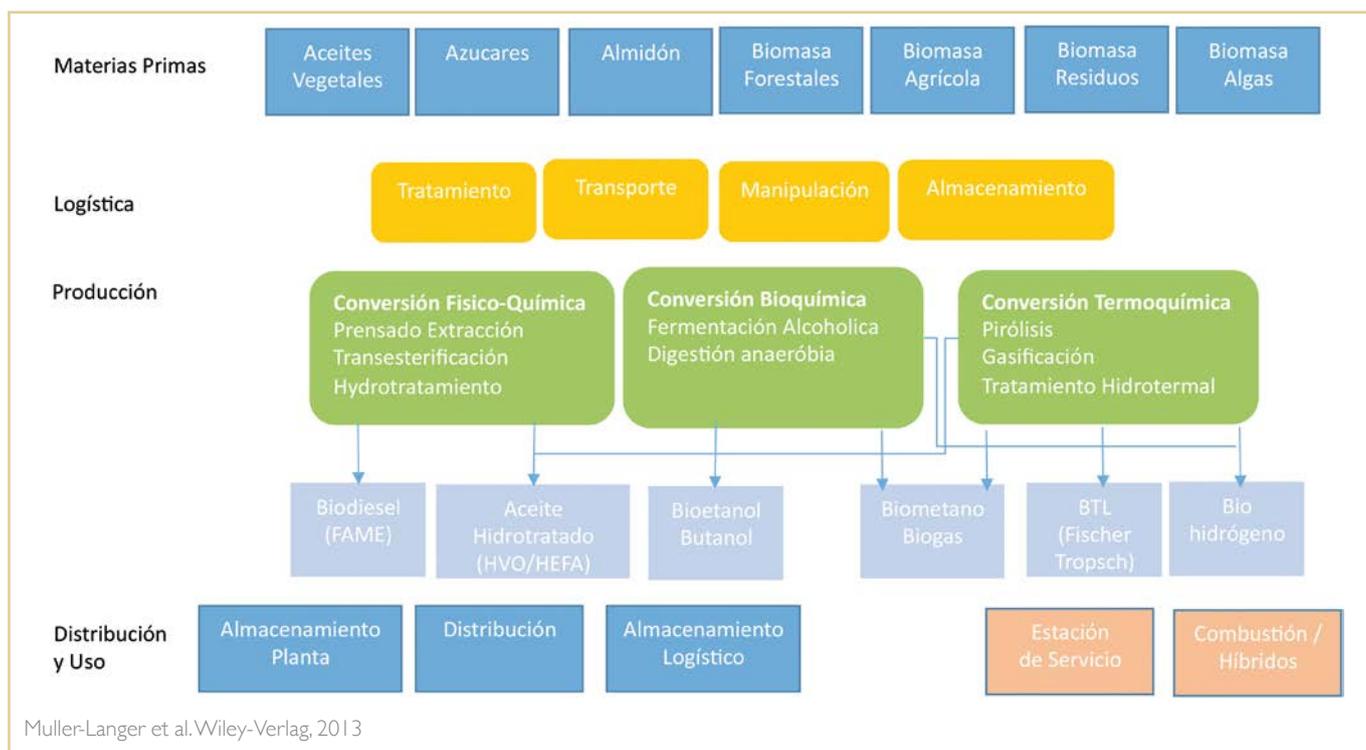
Los biocarburantes consumidos en el mundo son primordialmente, el etanol, un alcohol producto de la fermentación de cultivos agrícolas o de materiales lignocelulósicos; el biodiésel, un éster metílico fruto de la esterificación de aceites vegetales como la palma y metanol; y por último el aceite vegetal hidrotratado, que se fabrica al eliminar el oxígeno contenido en los aceites vegetales mediante reacciones en presencia de hidrógeno. Los biocarburantes están sometidos a un gran debate debido a los efectos que su producción en grandes cantidades ha tenido sobre el precio de los alimentos, con los que comparten materias primas como son el maíz, trigo, aceite de palma, etc...; y también al uso de tierras agrícolas para su cultivo cambiando su rendimiento original o bien dedicando zonas de alta biodiversidad al cultivo de biocarburantes. Estos dos últimos fenómenos se conocen como *Indirect Land Use Change* (ILUC) y ha condicionado de forma significativa la legislación europea. Hoy en día se conocen como biocarburantes convencionales los que proceden de materias primas comestibles y biocarburantes avanzados a aquellos cuyas materias primas son residuos, desechos, materiales lignocelulósicos y materiales celulósicos no comestibles, y además no tienen efecto sobre el cambio de uso de las tierras agrícolas.

Figura 2. Fuente BP Statistical Review 2015

burante producido corresponde al etanol, seguido del biodiésel y por último el aceite vegetal hidrotratado (HVO). Por zonas geográficas Europa consume un 17% en la producción mundial en especial biodiésel, las otras zonas con consumos destacados son

Estados Unidos con un 44% basado en la producción de etanol a partir de maíz y por último Brasil con un 24% principalmente etanol producido de la caña de azúcar. Alrededor de un 3% de la tierra cultivable del mundo se dedica a los biocarburantes.

Hemos revisado algunas publicaciones a fin de disponer de datos referentes a biocarburantes convencionales y también avanzados, como son el biometano procedente de residuos o de biomasa lignocelulósica, el bioetanol de origen lignocelulósico y el proceso *Biomass To Liquids* (BTL) donde se producen biocombustibles avanzados a partir del proceso Fischer-Tropsch.

Figura 3

En la figura 3 se muestra la cadena de producción de los principales biocarburantes y en la tabla 1 se hace un resumen sobre sus características en cuanto a materias primas, proceso de producción, subproductos, principales actividades en I+D así como su estado tecnológico identificado por el índice *Technology Readiness Level* (TRL). Por último se adjuntan algunos datos referentes a la capacidad típica de una planta de producción y a las capacidades instaladas en Europa y a nivel mundial.

Las refinerías españolas han sido pioneras en Europa en la producción de biocarburantes, desde los años noventa se ha producido Bio-ETBE (EtilTercButil Eter) un derivado oxigenado del bioetanol y de butenos producidos en la refinería, y que es un buen componente oxigenado frente al bioetanol,

limitado al 10%, en la formulación de gasolinas, debido a su estabilidad y alto número de octano. Las refinerías españolas consumen biodiésel producido con frecuencia en instalaciones cercanas a la refinería y por último España ha sido pionera en la producción de Aceite Vegetal Hidrotratado (HVO) mediante co-procesamiento en unidades de hidrogenación, actualmente se producen más de 300000 Tm al año de este producto que presenta unas propiedades excelentes como componente del diesel.

En la figura 4 (página siguiente) se muestra un esquema típico de producción de biocarburantes en refinería. La industria petrolera siempre se ha caracterizado por su capacidad de adaptación a diferentes entornos y por la habilidad en adaptar los procesos productivos a los sucesivos retos

que presenta un sector siempre cambiante en los tipos de crudo disponibles, la exigencia de productos de alta calidad y por último una normativa, que como veremos, exige un esfuerzo constante para cumplir con lo legislado.

La Normativa Europea sobre Biocarburantes

Los biocarburantes para el transporte se han usado en Europa mucho antes de estar sujetos a la regulación europea. Durante la Primera Guerra Mundial los autobuses de París consumían una mezcla de gasolina y etanol. Entre 1920 y 1950 en Francia se siguió consumiendo etanol procedente de la remolacha para reducir el consumo de petróleo y la dependencia del exterior. Este consumo se mantuvo hasta los años

sesenta cuando los bajos precios del petróleo y su mayor eficiencia le hicieron perder competitividad, aunque se mantuvo el consumo de metanol y etanol como mejorador de octano a través de los éteres butílicos, MTBE y ETBE. En los setenta y con las sucesivas crisis del petróleo de nuevo en Europa se pensó en los biocarburantes, en 1973

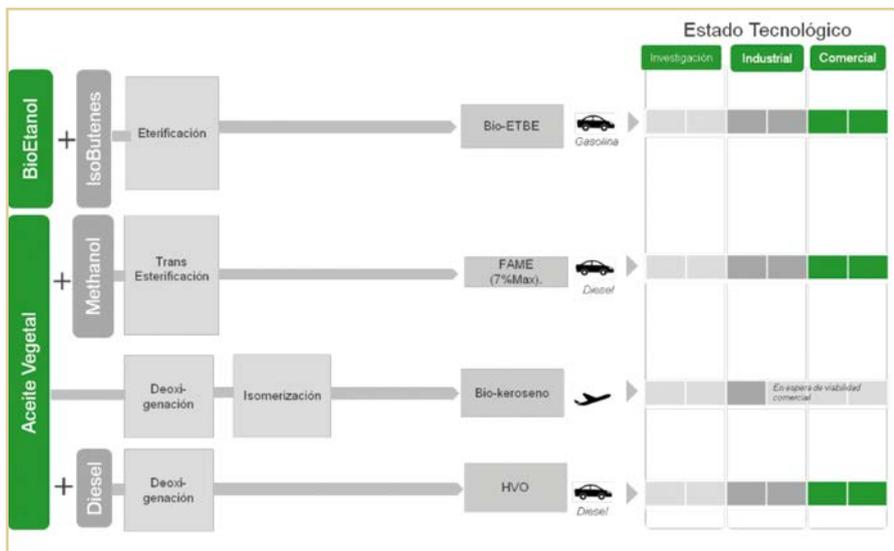
se empezó a fomentar la investigación en biodiésel y en 1982 Austria construyó la primera planta para la producción de biodiésel como ésteres metílicos de ácidos grasos. La primera directiva europea que se refería a los biocarburantes fue la Directiva del Consejo 85/536/ECC, que autorizaba hasta un 5% de etanol y un 15% de ETBE

en gasolina. Aparte de su uso alternativo al petróleo, la preocupación en Europa por el medio ambiente y en especial por los gases de efecto invernadero y su efecto sobre el cambio climático han otorgado un papel predominante a los biocarburantes en la legislación europea. Otro aspecto importante relativo al desarrollo de los biocarburantes

Tabla 1

Biofuel	Materia Prima	Fundamento	Subproductos	I+D	Desarrollo Tecnología	Capacidad Típica	Capacidad Instalada/ Producción Mundial	Capacidad Instalada / Producción Europa
Biodiesel (FAME) Esteres Metílicos de Ácidos Grasos	Aceites vegetales Comestibles, no comestibles, Aceite de cocina usado, grasas animales y de algas	Extracción mecánica o con disolventes del aceite; refinado, transesterificación y acabado	Residuos de prensado, glicerina, sal y ácidos grasos no convertidos	Optimización del proceso respecto a la calidad, catalizadores, energía	Comercial TRL 9	2-350 MW	1,835 mnGJ/a 624 mnGJ/a	823 mn GJ/a 336 mn GJ/a
Aceites Hidrotratados (HVO/HEFA)	Aceites vegetales Comestibles, no comestibles, Aceite de cocina usado, grasas animales y de algas Hidrógeno	Extracción mecánica o con disolventes del aceite; refinado hidrotratamiento, isomerización y acabado	Residuos de prensado, nafta, propano, butano y parafinas	Diversificación de la materia prima (algas), coprocesado en refinería, optimización de catalizadores y consumo de hidrógeno	Comercial TRL9	255-265 MW (150-1220) MW	102 mnGJ/a	65 mnGJ/a 46 mnGJ/a
Bioetanol Convencional	Azúcar (remolacha y caña), almidón (maíz, trigo, cebada),	Extracción o hidrólisis del azúcar, fermentación de las hexosas, destilación y deshidratación	Bagazo, gluten, residuos destilación, biogás y CO2	Optimización del proceso respecto a los residuos producidos	Comercial TRL9	38-450 MW	2403 mn GJ/a 1869 mnGJ/a	179 mn GJ/a 123 mnGJ/a
Bioetanol Avanzado	Biomasa lignocelulósica (heno, bagazo, madera, hierba)	Pretratamiento (hidrólisis térmica o ácida), conversión a azúcares, fermentación, destilación y deshidratación	Lignina, pentosas, biogás, CO2	Escalado de la tecnología, Aplicaciones para la lignina, pentosas; mejoras de las enzimas empleadas y aumento de la eficiencia	Comercial/ Demostración TRL 9/7	0,5-5 MW (35-100 MW)	2,96 mn GJ/a	0,51 nm GJ/a
Síntesis Fischer-Tropsch BTL	Biomasa lignocelulósica (heno, bagazo, madera, hierba) Black Liquor	Pretratamiento (hidrólisis térmica o ácida), gasificación, Síntesis FT. Hidrocracking, destilación, isomerización.	Parafinas, naftas, calor residual	Escalado del proceso y adaptación del proceso FT de las plantas de carbón y gas natural. Tratamiento gas de síntesis, mejora eficiencia.	Piloto para combustibles FT TRL 6	0,8-5 MW (40.300 MW)	1 mn GJ/a	-
Biometano Biogás	Residuos (urbanos, agrícolas, forestales)	Agglomeración, hidrólisis, digestión anaerobia, tratamiento del gas	Residuos digestor, residuos fertilizantes, calor residual	Optimización del proceso, rendimiento en metano, enzimas y tratamiento del gas	Comercial TRL9	0.5-50 MW	60 mnGJ/a	38 mn GJ/a 36 mn GJ/a
Biometano Lignocelulósico	Biomasa lignocelulósica (heno, madera)	Pretratamiento, gasificación, tratamiento del gas, síntesis y afinado del gas	Calor residual	Escalado, optimización del proceso en tratamiento de gas de síntesis, mejora de eficiencia	Demostración TRL7	1-10 MW (20-200 MW)	0,092 mn GJ/a	0,092 mn GJ/a

Figura 4



en Europa ha sido la Política Agrícola Común Europea (CAP) que desde principio de los noventa ha introducido la obligación de liberar un 15% de las tierras de los cultivos para alimentación y su posible uso en cultivos energéticos.

En 1998 se adoptó la primera legislación específica sobre biocarburantes que fue la Directiva de Calidad de los Combustibles (FQD) 98/70/EC, que los incluía como componente de las formulaciones admisibles. El año 2003 es un año clave en la política europea sobre biocarburantes, se publicaron ese año tres normativas que creaban una política formal en Europa sobre los biocarburantes, en marzo el Parlamento y el Consejo adoptaban la directiva 2003/17/EC, que corregía la directiva de 1998 de forma que se incluía la adición de bioetanol y biodiésel a los combustibles hasta un 5% en volumen. Posteriormente en mayo se adoptaba la Directiva 2003/30/EC, esta directiva no era vinculante pero marcaba por primera vez objetivos concretos para los biocarburantes, se pedía

un 2% en contenido energético en el año 2005, para las gasolinas y diésel dedicados al transporte, este objetivo se incrementaba hasta el 5,75% en 2010. Por último en octubre de 2003, se adoptaba la Directiva Fiscal sobre la Energía (2003/96/EC) que confería a los Estados miembros la potestad de usar su política fiscal para incentivar la penetración de los biocarburantes en los mercados nacionales. También en este año clave de 2003, la Unión Europea reformaba la Política Agraria Común y se adoptaba un subsidio especial para los cultivos energéticos de 45 €/Ha hasta un máximo de 1,5 millones de hectáreas, posteriormente incrementado hasta 2 millones de hectáreas.

El esfuerzo legislador de esos años en normativa para la protección del medio ambiente, se vio acompañado con la entrada en vigor del protocolo de Kyoto aumentando el compromiso europeo con la lucha por una mejora sustancial del medio ambiente. No obstante, a finales de 2005 la Comisión Europea, preocupada por el origen de las

materias primas dedicadas a la producción de biocarburantes, comunicaba a los Estados miembros un plan de acción sobre biomasa que principalmente pretendía conocer el potencial europeo para la producción de bioenergía. Poco después en 2006 se anunciaba la estrategia europea para los biocarburantes, que incluía de forma clara la importancia de la innovación tecnológica y la seguridad energética junto con los objetivos medioambientales. En este documento se entreveía el papel de los biocarburantes producidos a partir de materias lignocelulósicas, frente a las materias primas tradicionales como el almidón, aceites vegetales o azúcar. También en 2006, se reformaba el sector azucarero y se reducía en un 36% los soportes directos a la producción de azúcar. La reducción de incentivos a los cultivos agrícolas para la producción de azúcar convirtió la producción de bioetanol en una actividad más atractiva.

Tras estos años de transición, en 2007 la Comisión Europea publicaba el documento, "A Energy Policy for Europe", que reflexionaba sobre las iniciativas para la producción de energías tanto convencionales como agrícolas. Este documento fue la base para las sucesivas directivas que conformarían el marco legal en el que nos encontramos. En enero de 2008, la Comisión Europea define el marco para los objetivos 20-20-20 en 2020, con un 20% de energía renovable, un 20% de mejora de la eficiencia energética y una reducción del 20% de la emisión de gases de efecto invernadero referida al nivel de emisiones de 1990. El documento recogía un objetivo del 10% energético para los biocarburantes para el transporte, sin embargo, durante el proceso de definición de la normativa en el Parlamento y el Consejo, se produce un cambio muy importante y el término "biocombustible" se ve sustituido por el de "energía renovable", ampliando el número de tecnologías que se podrían emplear

Tabla 2

Península y Baleares	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Gasolina	3,9	4,1	3,9	3,9	3,9	–	–	–	–	–
Diesel	6,0	4,1	4,1	4,1	4,1	–	–	–	–	–
Global	6,2	7,0	4,1	4,1	4,1	4,3	5	6	7	8,5

Tabla 3

Aspectos a modificar	Cambios en la ILUC
Límite biocarburantes de 1ª generación	7% (e/e)
Computo aceites usados/grasas animales	x2 (fuera del cap del 7%)
Sub-objetivo biocarburantes avanzados	0,5% (e/e) como referencia a definir por los EE.MM x2 (fuera del cap del 7%)
Electrificación renovable	Ferrocarril eléctrico x2,5 Coches eléctricos x5
Factores ILUC	A reportar solo

para conseguir el citado objetivo del 10% en 2020. Este cambio conceptual se debió a los riesgos de que la producción masiva de biocarburantes podría comprometer la disponibilidad de alimentos, al competir por recursos como la tierra o el agua para los cultivos; también el uso indirectos de tierras (ILUC: *Indirect Land Use Change*), y las condiciones sociales en las zonas agrícolas podría afectar a los objetivos de reducción de gases de efecto invernadero. Otra razón adicional era el evitar que la normativa obligase al uso de determinadas tecnologías para la producción de biocarburantes y dejar que la innovación tecnológica encontrara las mejores soluciones para disponer de energía renovable para el transporte. Así la electricidad o el hidrógeno pueden ser fuentes de energía tan válidas como los recursos agrícolas para tener combustibles renovables para el transporte.

Tras todas estas reflexiones, en abril de 2009 se aprueba la Directiva de Energías Renovables (RED) 2009/28/EC. La directiva no solo se ocupa de los biocarburantes sino que es una herramienta para la pro-

moción de las energías renovables en Europa; al contrario que la directiva de 2003, cuando se aprueba la directiva en 2009 el consumo de biocarburantes en Europa representaba un 4% del total de los combustibles para el transporte con 12,1 millones de TOE. Una nueva Directiva para la Calidad de los Combustibles, la 2009/30/EC, se publicó poco después de la RED. En ella se ponían al día la Directiva de 2003 y se incrementaba el límite del biodiésel hasta el 7%. La directiva también cambiaba las especificaciones de la gasolina incrementando el contenido en oxigenados hasta el 3,7% en peso, esto significaba la posibilidad de añadir etanol hasta el 10% o éteres butílicos hasta el 22%. La RED fija un objetivo por el que el que la contribución de energías renovables en el sector del transporte para todos los Estados miembros debe ser de al menos el 10% del consumo final de energía en el sector para 2020. Este objetivo ha convertido a la Unión Europea en el mayor consumidor mundial de biodiésel, a pesar de que no se han cumplido los objetivos fijados por la Directiva para 2010.

Todas estas inquietudes respecto a los requisitos que deben cumplir los biocarburantes para confirmar su contribución a la mejora del medio ambiente, se ha recogido, no sin polémica de los diferentes grupos implicados, en la Directiva 2015/1513 que fue aprobada por el Parlamento Europeo el 9 de septiembre del pasado año. El 4 de diciembre se publica el Real Decreto 1085/2015 cuyo objeto es la introducción de medidas relacionadas con el fomento de la utilización de los biocarburantes y otros combustibles renovables con fines de transporte, así como la incorporación parcial al ordenamiento jurídico español de la Directiva 2015/1513 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 9 de septiembre de 2015, por la que se modifica la Directiva 98/70/CE, relativa a la calidad de la gasolina y el gasóleo, y la Directiva 2009/28/CE, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables.

Se revisan los objetivos de venta o consumo de biocarburantes para el periodo 2016-2020, estableciendo únicamente un objetivo global de consumos mínimos obligatorios, sin restricciones por producto. Para el año 2016 se establece un objetivo de venta o consumo de biocarburantes del 4,3 % en energía, que se irá aumentando cada año como se muestra en la tabla 2, hasta el 8,5% en 2020.

Para el año 2020 se establece que, para el cómputo en el objetivo de energías renovables en el transporte, el porcentaje de biocarburantes producidos a partir de cereales y otros cultivos ricos en almidón, de azúcares, de oleaginosas y de otros cultivos plantados

en tierras agrícolas como cultivos principales fundamentalmente con fines energéticos no podrá superar el 7%. Al mismo tiempo, se apuesta decididamente por los biocarburantes producidos a partir de residuos. En la tabla 3, se muestra un resumen del Anexo IX de la directiva donde se indican los límites y la doble contabilidad de los diferentes combustibles a efectos de cumplir con el objetivo de energía renovable. En abril de 2017 el gobierno deberá publicar un objetivo indicativo de biocarburantes avanzados y el listado de biocarburantes que tendrán dicha consideración, así como el efecto multiplicador del contenido energético de cada uno de ellos. Es claro el interés, tal como recoge la directiva de fomentar el transporte eléctrico con factores multiplicadores de hasta 5 en el caso del coche eléctrico.

El consumo en España de gasolina y gasóleos en el año 2015 ha sido de unos 34 millones de toneladas y el bioetanol y biodiésel inyectado, aproximadamente 1,1 millones

de toneladas de ambos biocarburantes. Las estimaciones de consumo de biocarburantes tras la publicación del RD para un contenido en energía renovable del 8,5%, son de 2,7 millones de toneladas de los cuales 2 millones serían biocarburantes de primera generación y entre 0,2 a 0,3 millones de toneladas de biocarburantes avanzados.

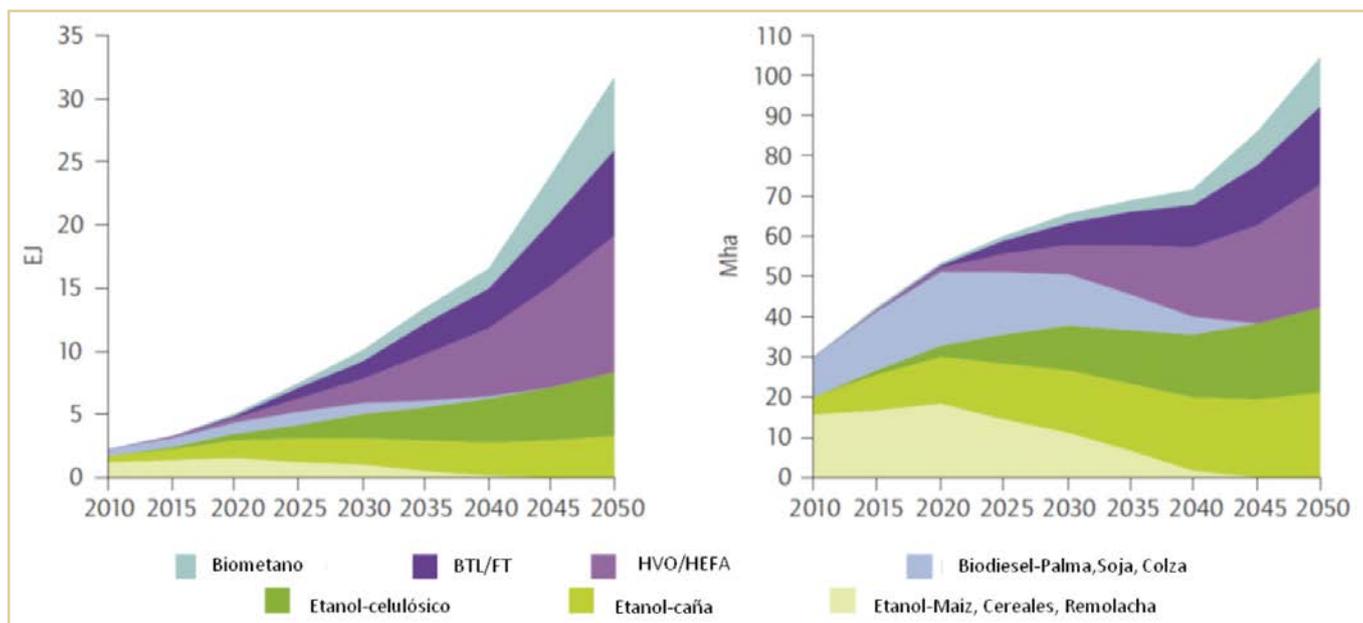
Cumplimiento de la Normativa de Biocarburantes

El transporte europeo es responsable de la quinta parte de las emisiones de GEI del continente. Los biocarburantes son parte del programa normativo de la Unión Europea para reducir el contenido en carbono en los combustibles del sector y las emisiones asociadas. Los principales instrumentos normativos para este fin son las directivas 2009/28/EC y 2009/30/EC, ambas directivas definen objetivos específicos para que en 2020 el contenido energético renovable de los combustibles en el transporte sea del

10% y se produzca una disminución de GEI del 6%, en las emisiones asociadas al ciclo de vida de los combustibles para el transporte respecto a las emisiones medias de GEI en la UE en 2010.

Son numerosos los estudios realizados a fin de determinar la combinación óptima de biocarburantes para cumplir con los objetivos marcados por las diferentes legislaciones, y es un asunto complejo dada la gran incertidumbre existente en las emisiones de GEI publicadas para cada biocombustible. El Análisis de Ciclo de Vida (*Life Cycle Analysis*) es la herramienta empleada para este cálculo y presenta una gran diversidad en función de las fuentes y también en la metodología utilizada que hace complejo tener un valor definido. Por ejemplo en la figura 5 se presenta un resultado de la Agencia Internacional de la Energía (*International Energy Agency*) que predice las necesidades mundiales de los principales biocarburantes hasta 2050 así como la superficie cultivable necesaria.

Figura 5



En la tabla 4 se recopilan de la bibliografía disponible, principalmente en el trabajo de Muller-Langet et al. 2014, los valores de eficiencia del proceso productivo, coste y emisiones de CO₂ para los principales biocarburantes. La eficiencia se ha definido como la relación entre la energía producida y la invertida en el proceso incluyendo la asociada a las materias primas, subproductos y energía residual, así como la energía suministrada a la planta, se presentan los valores máximo y mínimo para cada biocombustible. Los costes presentados son el resultado de una labor de análisis realizada en los últimos siete años por Muller-Langer et al., e incluyen tanto la inversión como los costes operativos, que se han sido normalizados al año 2013. Por último se recoge las emisiones en gases efecto invernadero de los diferentes biocarburantes, como fruto de un análisis de los ciclos de vida publica-

dos. Para los costes y el nivel de emisiones se han tomado los valores máximo, mínimo y un valor de referencia.

Con los datos disponibles se ha formulado un modelo en el que se simula el *mix* de combustibles en España. Se supone un 90% de combustible fósil (80% diésel y 20% gasolina) con una emisión de 83,8 kgCO₂/GJ y un coste de 16,7€/GJ, el 10% renovable se compone de un 7% de biocarburantes convencionales: Biodiésel, Aceite Hidrotratado (HVO) y Bioetanol; un 1,5% de biocarburantes avanzados: Bioetanol Lignocelulósico, Biometano producido con residuos y materiales lignocelulósicos, y por último biocombustible producido mediante el proceso Fischer-Tropsch a partir de biomasa lignocelulósica (BTL) y un 1,5% correspondientes a vehículos eléctricos y ferrocarril.

El problema de optimización presenta múltiples óptimos locales debido al tipo de datos recogidos en la tabla y que tienen rangos que se solapan debido a la incertidumbre de la bibliografía existente. Por ello se ha elegido el método de algoritmos genéticos que aunque lento presenta una mayor tasa de éxito en lograr soluciones cercanas al óptimo global. Los resultados obtenidos tienen en cuenta los valores mostrados en la tabla 4, en la realidad las reducciones en GEI serán mayores ya que los fabricantes solo podrán utilizar biocarburantes sostenibles, es decir aquellos que reduzcan las emisiones de GEI frente a combustibles fósiles en más del 50%.

Los resultados obtenidos se presentan en las siguientes tablas, donde se muestra el *mix* para diferentes reducciones en la emisión de GEI frente al caso de usar solo combustibles fósiles:

Tabla 4

Biofuel	%Eficiencia min	%Eficiencia max	Coste €/Gj min	Cost €/Gj referencia	Cost €/Gj max	kgCO ₂ /Gj min	kgCO ₂ /Gj referencia	kgCO ₂ /Gj max
Diesel/Gasolina				16,7			83,8	
Biometano (Lignocelulosa)	45	85	13	30	36	2	20	57
Biometano (Residuos)	43	62	15	21	35	4	26	56
Biometano (Pasto ensilados)	38	84	30	37	43	18	22	52
BTL/FT (Lignocelulosa)	43	73	17	44	64	5	6	78
Bioetanol (Lignocelulosa)	37	78	20	30	42	0,1	9	32
Bioetanol (Caña)	30	61	7	16	18	18	25	29
Bioetanol (Remolacha)	46	78	19	24	28	4	40	80
Bioetanol (Maiz)	44	65	18	24	25	37	42	95
Bioetanol (Trigo, cebada)	49	85	19	34	38	14	56	105
HVO/HEFA (Aceites vegetales)	59	90	21	28	34	5	43	68
Biodiesel (Palma)	39	67	9	18	23	10	50	78
Biodiesel (Colza)	78	91	16	24	30	10	50	78
Biodiesel (Soja)	84	92	13	22	31	10	50	78

En este caso se ha intentado obtener la máxima reducción en GEI mediante biocarburantes convencionales y con cuotas similares a las reales, incluso alcanzando el 8,5% solo se consigue un 4,5% de reducción. Para este caso la eficiencia media de obtención de los biocombustibles es del 70,5%, el coste por GJ es de 21,44€ y el coste por tonelada de CO₂eq es de 36,4€.

Para una reducción en GEI del 5% el modelo utiliza biocombustibles avanzados, sobre todo bioetanol y aumenta la proporción de aceite hidrotratado a costa, sobre todo del biodiésel con peores factores de emisión. La eficiencia media obtenida baja hasta 66,45% debido al uso de no convencionales con peores rendimientos. El coste por GJ sube hasta 24,34€ y el coste por tonelada de CO₂eq es de 84,65€, duplicando el caso anterior.

Para el caso de un 6% de reducción en GEI, el programa elige una mezcla principalmente de aceite hidrotratado y bioetanol lignocelulósico, eliminando el bioetanol convencional y casi por completo el biodiésel. La eficiencia media baja hasta 62,17% y los costes se disparan con 29,16€/GJ y sobre todo el de la tonelada equivalente de CO₂ que sube hasta 234,04€.

A pesar de que los datos presentan grandes diferencias entre sus valores máximos y mínimos, hemos realizado simulaciones en diferentes intervalos y si bien los resultados absolutos varían, no lo hace así la composición del *mix* obtenido en cada caso.

A la vista de los resultados parece difícil conseguir lo indicado en la norma a efectos de reducción de GEI, solo con biocarburantes convencionales y es por tanto necesario pensar en el desarrollo de biocombustibles avanzados que puedan fabricarse de forma eficiente y rentable a fin de cumplir con los objetivos marcados. El aceite vegetal de

Tabla 5

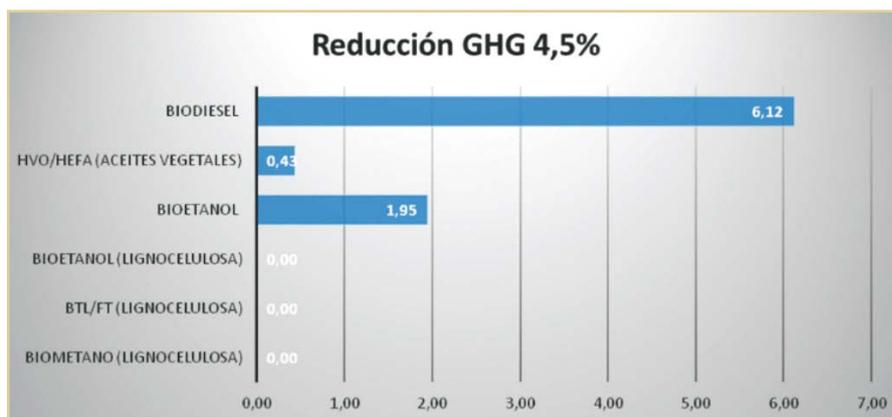


Tabla 6

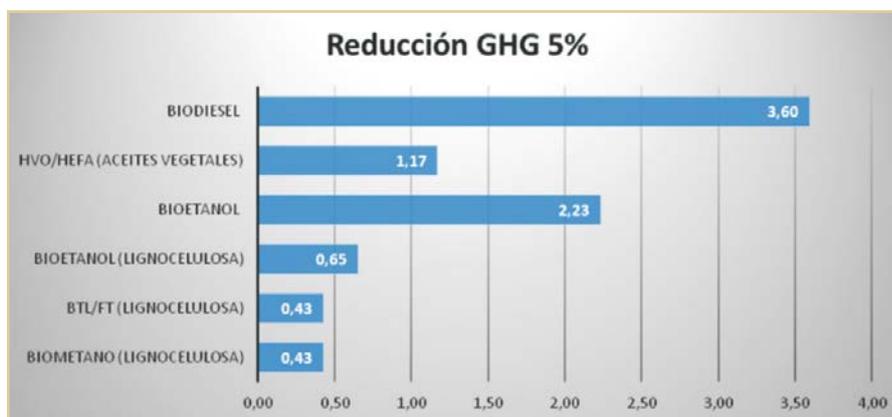


Tabla 7

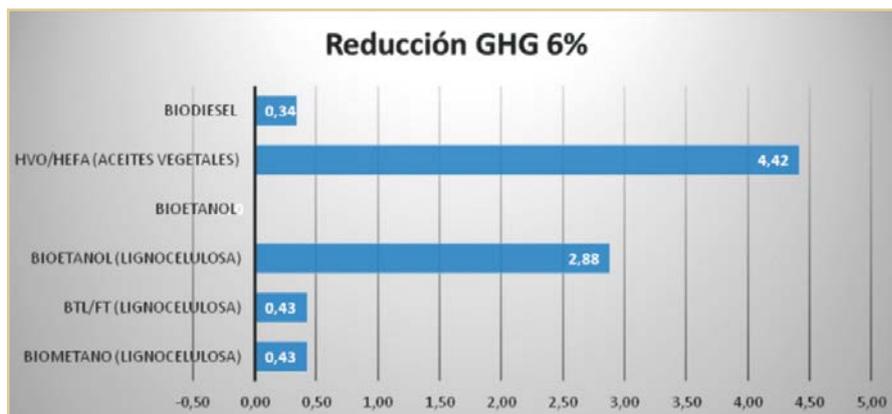
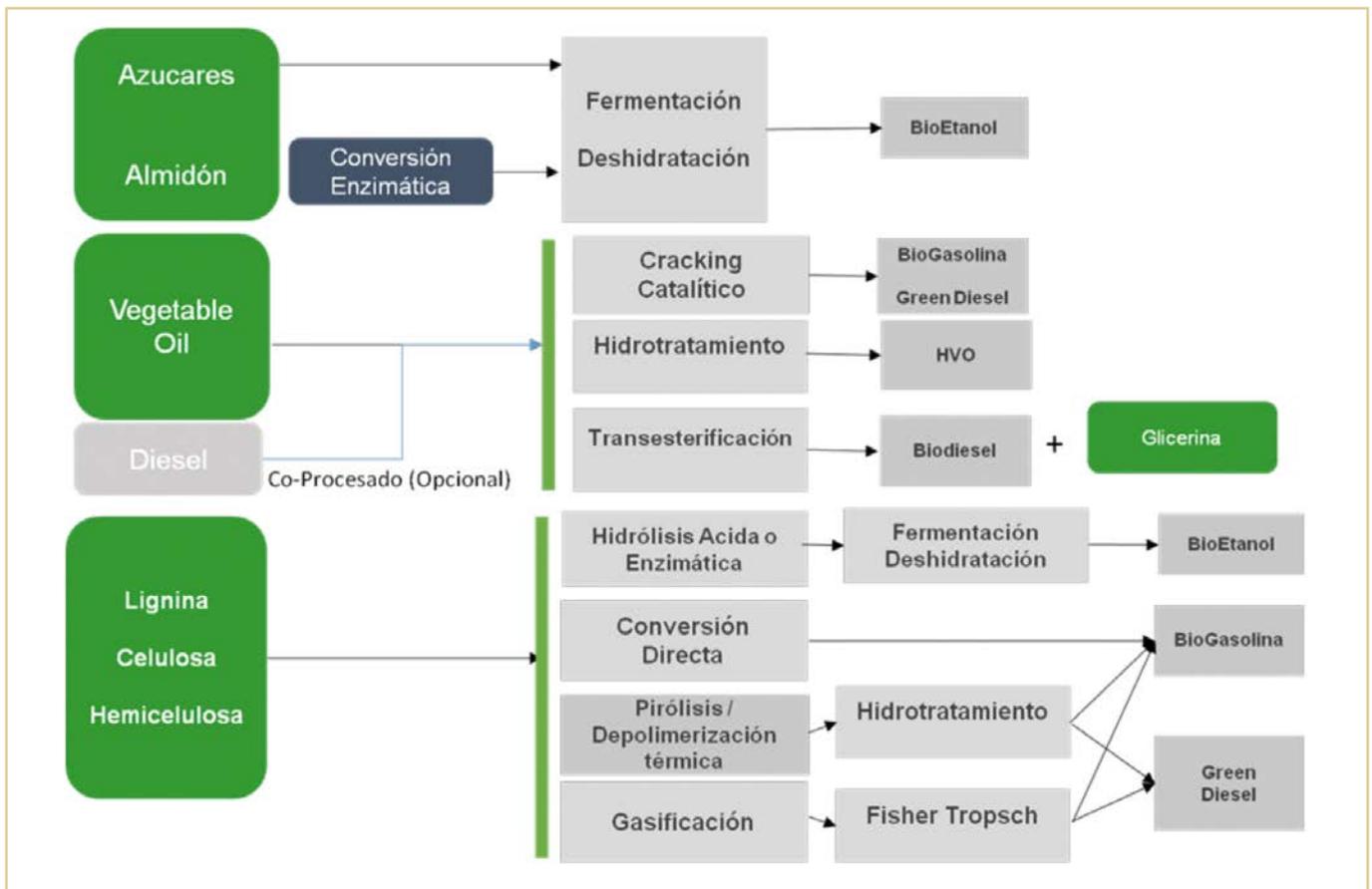


Figura 6



plantas no comestibles y las grasas animales una vez hidrot ratadas pueden ser una posible alternativa, al igual que el bioetanol lignocelulósico. No obstante el reto tecnológico es importante sobre todo por el escaso tiempo disponible hasta el 2020.

A modo de ejercicio, se propone el esquema de la figura 6, donde se han incluido

los procesos descritos en la bibliografía, integrados en un solo bloque. Queda claro que es muy difícil justificar un proceso tan complejo y que la industria deberá apostar por los procesos más eficientes y que permitan producir biocarburantes que sean lo más rentables posibles. En este sentido los aceites hidrot ratados parecen una solución tecnológicamente madura y con una

calidad que permite su incorporación a la formulación de diésel sin límite de mezcla. El desarrollo de este proceso requiere la búsqueda de procesos de producción de hidrógeno baratos y también si es posible de origen renovable.

Conclusión

La normativa medioambiental vigente desde diciembre de 2015 y que recoge las últimas directivas aprobadas por el Parlamento y el Consejo de la Unión Europea en 2015, propone un 10% de energía renovable para los combustibles de transporte. Los biocarburantes convencionales quedan limitados al 7% y el resto de energía debe proveerse a través de biocarburantes avanzados y medios de transporte eléctricos.

Al limitar los combustibles convencionales parece que la Unión Europea no apoya esta fuente renovable posiblemente debido al debate sobre su impacto en el precio de los alimentos y en el cambio de uso de la tierra cultivable. Es de esperar en el futuro que los biocarburantes avanzados experimenten un desarrollo tecnológico e industrial que les permita contribuir de forma eficaz a la reducción de las emisiones de GEI.

Se ha confeccionado un modelo de simulación para determinar el *mix* óptimo de biocarburantes, el modelo se basa en los datos recogidos en la bibliografía y presentan una gran variabilidad. Los resultados del modelo indican que parece difícil cumplir los objetivos marcados solo mediante el uso de biocarburantes convencionales y que será necesario emplear biocarburantes avanzados en especial los aceites hidrotratados y el bioetanol lignocelulósico.

Bibliografía

- 1.- *BP Statistical Review*. 2015
- 2.- *"Technology roadmap-biofuels for transport"*. International energy agency. 2011
- 3.- *"The potential and challenge of drop-in biofuels"* Task39. Interenational energy Agency. 2014
- 4.- *"Energy Transitions"*. HIS. October 2015
- 5.- Informe CORES. Diciembre 2015
- 6.- *"Benchmarking Biofuels-a comparison of technical, economic and environmental indicators"*. Müller-Langer et al. Energy, Sustainability and Society 2014
- 7.- *"Biofuels—At What Cost? A review of costs and benefits of EU biofuel policies"*. IISD. Abril 2013
- 8.- Real Decreto 1085/2015
- 9.- *"Biomass as energy resource"*. John Jechura. Colorado School of Mines. Enero 2016
- 10.- *"EROI of different fuels and the implications for society"*. Hall et al. Energy Policy. 2014
- 11.- *"RED, FQD, and EU Biofuels Policy"*. Pete Whitman. TRB Annual Meeting ADC-70/80. enero 2014
- 12.- *"Toward the integration of vegetable oils and lignocellulosic biomass into conventional petroleum refineries units"*. Elía et al. Industrial Biorenewables: A Practical Viewpoint, First Edition. Edited by Pablo Domínguez de María. John Wiley & Sons.2016 ■

El autor agradece a Olalla del Río y Carlos Olivares la revisión y valiosos comentarios al manuscrito original.