

Editores:

José Ignacio Linares Hurtado
Beatriz Yolanda Moratilla Soria
María del Mar Cledera Castro
Alexis Cantizano González
Raquel de Francisco Fernández
Raquel Chamochín Escribano

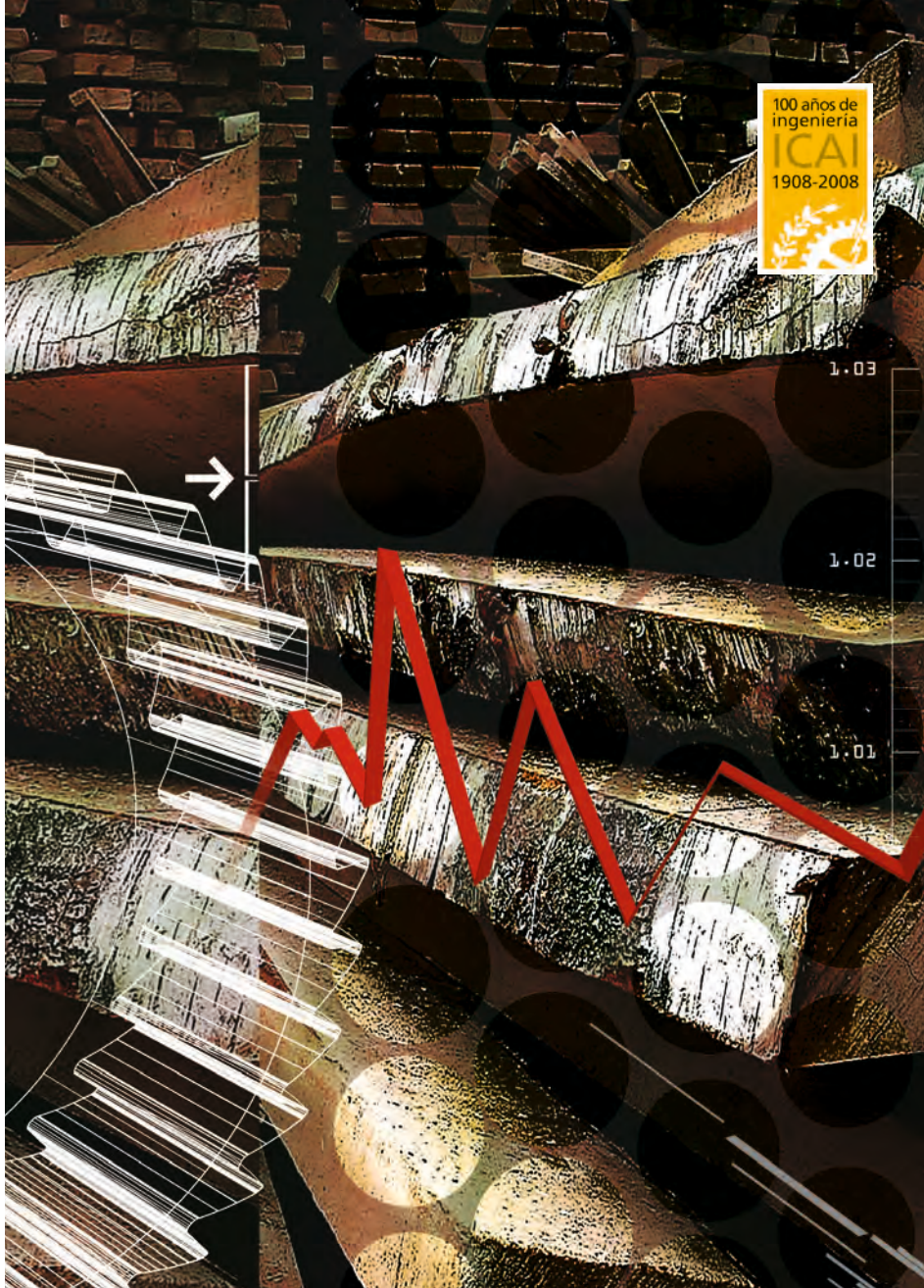
Autores:

Jesús Fernández González
Manuel Montes Ponce de León
Antonio Elías García Martínez
Awf Al-Kassir Abdulla
Jesús Arauzo Pérez
José Luis Sánchez Cebrián
Alberto Gonzalo Callejo
Miguel González de la Torre
Eduardo Marcos Quevedo
Jesús Gil Díez
Mercedes Ballesteros Perdices
Gerardo Novales Montaner
Pablo Eugui Baraibar
José Aracil Mira
Guillermo Wolff Elósegui
Andrés Melgar Bachiller
Julio Artigas Cano de Santayana
Andrés de León Llamazares
Anselmo García Martín
Carlos López Jimeno

Edita:



Asociación Nacional
de Ingenieros del ICAI



COLECCIÓN: AVANCES DE INGENIERÍA

Análisis de situación y perspectiva de nuevas tecnologías energéticas

5

Biomasa: estado actual y perspectiva inmediata

Edita:

© Asociación Nacional de Ingenieros del ICAI
Reina, 33. 28004 Madrid
www.icaei.es

© Universidad Pontificia Comillas
Alberto Aguilera, 23. 28015 Madrid
www.upcomillas.es

Sólo se permite la reproducción parcial de este libro, y con la condición de que se indique de forma precisa la fuente original.

ISBN: 978-84-935950-9-8

Depósito Legal: M-12970-2009

Biomasa: estado actual y perspectiva inmediata

COLECCIÓN: AVANCES DE INGENIERÍA

Análisis de situación y prospectiva de nuevas tecnologías energéticas

5

Editan:



Asociación Nacional
de Ingenieros del ICAI



Cátedra Rafael Mariño de
Nuevas Tecnologías Energéticas
Escuela Técnica Superior
de Ingeniería (ICAI)

Editores:

JOSÉ IGNACIO LINARES HURTADO – BEATRIZ YOLANDA MORATILLA SORIA – MARÍA DEL MAR CLEDERA CASTRO
ALEXIS CANTIZANO GONZÁLEZ – RAQUEL DE FRANCISCO FERNÁNDEZ – RAQUEL CHAMOCHÍN ESCRIBANO

Autores:

JESÚS FERNÁNDEZ GONZÁLEZ – MANUEL MONTES PONCE DE LEÓN – ANTONIO ELÍAS GARCÍA MARTÍNEZ
AWF AL-KASSIR ABDULLA – JESÚS ARAUZO PÉREZ – JOSÉ LUIS SÁNCHEZ CEBRIÁN – ALBERTO GONZALO CALLEJO
MIGUEL GONZÁLEZ DE LA TORRE – EDUARDO MARCOS QUEVEDO – JESÚS GIL DÍEZ – MERCEDES BALLESTEROS PERDICES
GERARDO NOVALES MONTANER – PABLO EUGUI BARAIBAR – JOSÉ ARACIL MIRA – GUILLERMO WOLFF ELÓSEGUI
ANDRÉS MELGAR BACHILLER – JULIO ARTIGAS CANO DE SANTALLANA – ANDRÉS DE LEÓN LLAMAZARES
ANSELMO GARCÍA MARTÍN – CARLOS LÓPEZ JIMENO

La Asociación Nacional de Ingenieros del ICAI y la Cátedra Rafael Mariño de Nuevas Tecnologías Energéticas de la Universidad Pontificia Comillas quieren agradecer su colaboración a las siguientes empresas e instituciones:

Patrocinadores de la Cátedra



Patrocinadores de la Jornada



Colegio Nacional
de Ingenieros del ICAI



Índice

Prólogo	9
Capítulo I: La Biomasa: presente y futuro	11
I Biomasa, humilde y discreta, pero la gran esperanza de las renovables. JESÚS FERNÁNDEZ GONZÁLEZ (ADABE).	13
Capítulo II: Aplicaciones estacionarias: generación eléctrica, gasificación y co-combustión.	27
I Introducción. MANUEL MONTES PONCE DE LEÓN (MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA).	29
I Co-combustión de biomasa. ANTONIO ELÍAS GARCÍA MARTÍNEZ (ENDESA GENERACIÓN).	33
I Utilización de orujos y alperujos como biocombustibles. AWF AL-KASSIR ABDULLA (UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA).	43
I Gasificación de residuos biomásicos. JESÚS ARAUZO PÉREZ, JOSÉ LUIS SÁNCHEZ CEBRIÁN Y ALBERTO GONZALO CALLEJO (UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA).	51
Capítulo III: Aplicaciones estacionarias: residuos, calefacción distrital y calderas para uso doméstico.	73
I Distribución e implementación de tecnología austriaca de biomasa en España. Calderas domésticas de biomasa. MIGUEL GONZÁLEZ DE LA TORRE (H.C. INGENIERÍA).	75
I Red de calefacción centralizada alimentada con biomasa en Cuéllar (Segovia). EDUARDO MARCOS QUEVEDO (AYUNTAMIENTO DE CUÉLLAR).	91
I La valoración energética de la fracción combustible de los residuos. JESÚS GIL DÍEZ (URBASER).	99

Capítulo IV: Aplicaciones en el transporte: producción de biocarburantes.	109
I Hacia el concepto de biomasa.	
MERCEDES BALLESTEROS PERDICES (CIEMAT).....	111
I Producción de biocarburantes y aplicación en el transporte.	
GERARDO NOVALES MONTANER (ABENGOA BIOENERGÍA).....	119
I Biocombustibles.	
PABLO EUGUI BARAIBAR (ACCIONA).	127
I Proceso de producción de Biodiésel. Nuevas materias primas alternativas.	
JOSÉ ARACIL MIRA (UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID).	133
Capítulo V: Aplicaciones en el transporte: adaptación de motores.	141
I El desarrollo de los biocarburantes en España: la perspectiva de una empresa petrolera.	
GUILLERMO WOLFF ELÓSEGUI (REPSOL YPF).	143
I Comportamiento de biocombustibles en motores alternativos.	
ANDRÉS MELGAR BACHILLER (FUNDACIÓN CIDAUT).	159
Capítulo VI: Problemática actual de la biomasa. Enfoque integrado.	171
I El Plan de Energías Renovables I.	
JULIO ARTIGAS CANO DE SANTAYANA (IDAE).	173
I El Plan de Energías Renovables II.	
ANDRÉS DE LEÓN LLAMAZARES (MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN).	181
I La visión del sector productor.	
ANSELMO GARCÍA MARTÍN (FUNDACIÓN SORIALACTIVA).	185
Capítulo VII: Actuaciones de la Comunidad de Madrid para el desarrollo de las energías renovables.	193
I Líneas de subvención y normativa para la biomasa.	
CARLOS LÓPEZ JIMENO (COMUNIDAD DE MADRID).	195
Bibliografía	205

Prólogo

En el presente volumen de la serie *Análisis de Situación y Prospectiva de Nuevas Tecnologías Energéticas*, de la Colección “Avances de Ingeniería” que edita la Asociación Nacional de Ingenieros del ICAI junto con la Universidad Pontificia de Comillas, se expone una visión panorámica del estado actual del aprovechamiento energético de la biomasa, una fuente de energía tan antigua como la propia humanidad, que ha acompañado al hombre a lo largo de su historia, tanto para luchar contra el frío, como para cocinar los alimentos, para usos industriales y también, desgraciadamente, para usos bélicos.

La biomasa ha sido la principal fuente de abastecimiento energético de la humanidad hasta el comienzo de la Época Industrial en que se empezaron a utilizar de forma intensa los combustibles fósiles y aún hoy, hay varios miles de millones de personas de pueblos en vías de desarrollo que dependen de la biomasa como principal fuente de energía. Las estadísticas actuales cifran el consumo de biomasa en todo el mundo en torno a los 1.112 millones de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep), que representa más del 10% del consumo mundial de energía. A pesar de la enorme dependencia de los combustibles fósiles en los países desarrollados, el consumo de biomasa en éstos va en aumento en los últimos años, representando en la actualidad cerca de los 400 Mtep, de los que una quinta parte aproximadamente, es consumida en la Unión Europea.

Las cifras anteriores sorprenden a expertos y legos en materia energética y mucho más cuando se comprueba que la participación de la biomasa en el balance energético global es muy superior a la que tienen otras energías renovables, mucho más difundidas en los medios de comunicación y conocidas por el gran público. Según se indica en el primer artículo de este volumen, la biomasa sigue siendo la gran desconocida de las renovables, a pesar de su aparente cercanía a todos nosotros, y a ello contribuye su enorme complejidad debida a la gran variedad de los recursos, procesos de transformación y aplicaciones que se puede considerar para cada una de estas áreas que en conjunto constituyen la materia conocida como Biomasa. Las posibles combinaciones entre los diferentes elementos que componen las áreas anteriores, hacen de la biomasa una fuente energética bastante compleja a pesar de su aparente sencillez, y para poder opinar sobre ella con conocimiento de causa, se requiere algo más que haber visto arder la leña en una chimenea o haber leído los titulares de los periódicos en relación a la problemática originada por el uso de alimentos para producir energía.

A pesar de la asociación intuitiva de la biomasa con los pueblos en vías de desarrollo, los países desarrollados han experimentado en los últimos años un incremento espectacular

en el uso y consideración de la biomasa como fuente energética estratégica. A ello ha contribuido la necesidad de diversificar las fuentes de abastecimiento de combustibles, la necesidad de luchar contra el incremento de gases de efecto invernadero en la atmósfera y la carestía creciente de los combustibles fósiles. Hoy en día la calefacción con biomasa resulta bastante más económica que la convencional, si se tiene en cuenta solamente el precio del combustible. A este respecto hay que recordar que aproximadamente 2,5 kg de biomasa seca tienen la misma energía que 1 kg de gasóleo.

Una de las características que diferencia a la biomasa de las otras energías renovables es la dificultad de disponer del recurso de forma continuada, sobre todo cuando las industrias de biomasa están basadas en biomasa residual no controlada por los utilizadores de dichas materias primas. La posibilidad de que las mismas materias primas puedan ser utilizadas para otras aplicaciones, además de la energética, crea una fuerte incertidumbre a la hora de realizar los estudios de viabilidad sobre las plantas de producción de biocombustibles o de energía con biomasa. Por este motivo cada vez se está pensando más en producir la biomasa mediante cultivos energéticos específicos, que no interfieran con los cultivos alimentarios y que puedan garantizar el abastecimiento de materias primas a las industrias energéticas con unas ciertas garantías sobre el aprovisionamiento y precio. Esto supone respecto a la fuente de suministro, el paso de una mentalidad “recolectora” a una mentalidad “productora”, algo análogo a lo que ocurrió con la obtención de alimentos en el Neolítico hace unos 11.000 años. La agricultura productora de alimentos fue un gran paso para la Humanidad que le permitió un desarrollo espectacular, pasando de los cerca de 11 millones de habitantes en que se estima la población humana del planeta en el Paleolítico Superior, a los cerca de 7.000 millones que tiene en la actualidad. Algo análogo puede ocurrir con la disponibilidad futura del recurso de la biomasa, cuando se identifiquen, domestiquen y mejoren las especies vegetales adecuadas para desarrollarse en las tierras disponibles, al margen de las que se están utilizando para producir alimentos.

Las anteriores consideraciones, indican el acierto que tuvo la Asociación Nacional de Ingenieros del ICAI junto con la Universidad Pontificia de Comillas, en mayo de 2006, al impulsar la realización de las Jornadas sobre “Biomasa: Estado actual y perspectiva inmediata”, a través de la Cátedra Rafael Mariño de Nuevas Tecnologías Energéticas de la UPCO y su apoyo y dedicación para realizar la edición del presente volumen, que sin duda contribuirá a difundir el conocimiento sobre la biomasa como fuente de energía.

Jesús Fernández.
Dr. Ingeniero Agrónomo
Presidente de la Asociación para la Difusión del Aprovechamiento
de la Biomasa en España (ADABE)

CAPÍTULO I

La Biomasa: presente y futuro

1. Biomasa, humilde y discreta, pero la gran esperanza de las renovables

Autor: Jesús Fernández González

Titulación: Dr. Ingeniero Agrónomo y Licenciado en Ciencias Biológicas

Institución: Asociación Española para la Difusión del Aprovechamiento de la Biomasa en España (ADABE)

Cargo: Presidente

Biomasa, humilde y discreta, pero la gran esperanza de las renovables

JESÚS FERNÁNDEZ GONZÁLEZ - ADABE

Concepto y diversidad del término “biomasa”

La biomasa, a pesar de ser una fuente energética tan cercana y tan aparentemente conocida por todo el mundo, en el fondo es la gran desconocida de las renovables, quedando relegada a un segundo plano en relación a las otras cuya aportación energética global es mucho menor. A esto contribuyen mucho los medios de comunicación, ya que cuando tratan de energías renovables en general, la imagen con la que suelen ilustrar la información es normalmente la de un panel solar o la de un aerogenerador, ambos con un componente tecnológico importante, mientras que las imágenes que suelen ilustrar la energía de la biomasa (leña, residuos, basuras, etc.) relacionan más a esta fuente de energía con el subdesarrollo y con situaciones de penuria energética. Esta imagen no penetra tanto en la conciencia de la sociedad ni resulta atractiva para los universitarios de formación tecnológica, a diferencia de lo que ocurre con las otras energías renovables.

Si se realiza una encuesta a graduados universitarios sobre el ranking que ocuparían las diferentes energías renovables en relación a su contribución al balance energético nacional (sobre la base de energía primaria), lo más frecuente es que sitúen en primer lugar la energía hidráulica, a continuación la eólica, después la solar (distinguiendo entre solar fotovoltaica y térmica) y, por último, la biomasa. Ésta es la imagen que tiene también la mayoría de los estudiantes universitarios y el público en general, cuyos conocimientos están muy influenciados por los medios de comunicación.

El desconocimiento sobre el potencial real de la biomasa se debe principalmente a su enorme diversidad en cuanto al recurso, procesos de transformación y aplicaciones, con múltiples combinaciones entre sí, siendo frecuente que cada uno considere aspectos parciales de esta fuente de energía, en lugar de tener una visión de conjunto de la misma. Podemos constatarlo en títulos de jornadas promocionadas por expertos tales como “Biomasa y residuos” o “Biomasa y biocarburantes”, mezclando

conceptos de carácter general con otros más específicos incluidos en el primero. Son contradicciones que implican, no el desconocimiento, pero sí la falta de armonía en este concepto de biomasa.

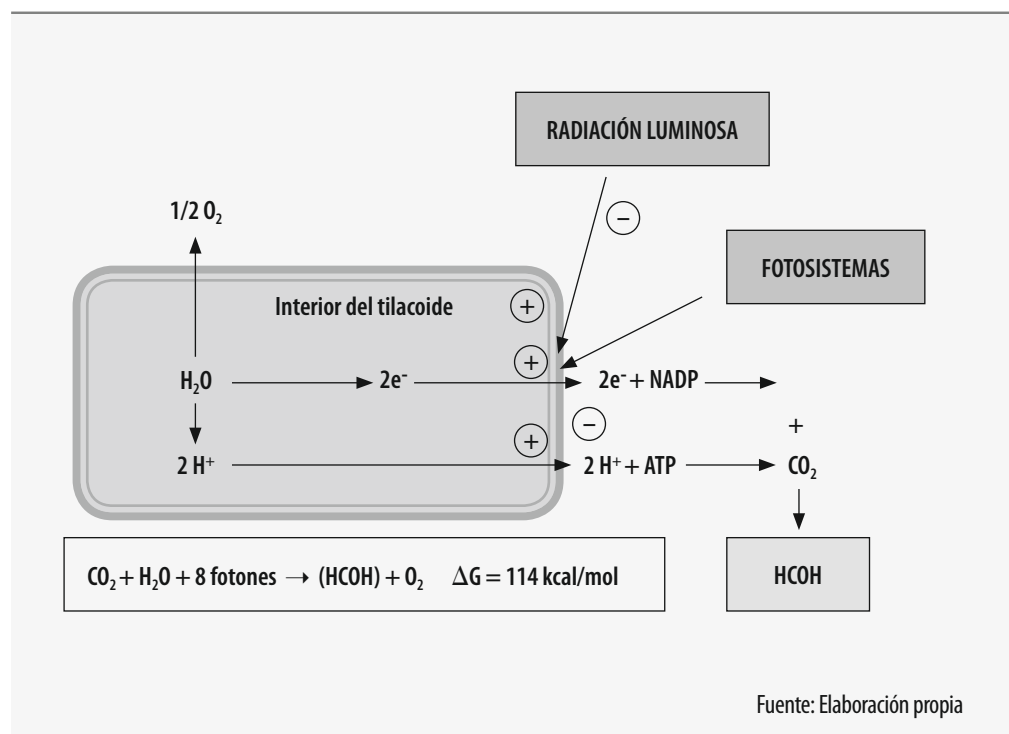
El problema que a mi juicio es causa de una parte de la confusión radica en el hecho de que el término “biomasa” se aplica tanto al recurso como a la energía renovable que lo utiliza, cosa que no ocurre en las otras energías renovables. En relación al recurso se puede definir como biomasa “cualquier tipo de materia orgánica con un origen biológico en un pasado inmediato”. Existen otros tipos de materias orgánicas, como el petróleo o los plásticos, que algunos consideran “biomasa fósil”, pero que sólo sirve para complicar más los conceptos mediante el uso del prefijo “bio”. Se trata de una forma de energía solar almacenada en la materia orgánica que se recupera en los procesos de combustión y oxidación. También hay falta de precisión en el término de “biocombustibles” ya que se puede referir a biocombustibles sólidos, líquidos (biocarburantes) o gaseosos. A este respecto sería deseable tener más precisión en el lenguaje.

La biomasa como energía renovable del tipo “solar fotovoltaico”

La biomasa se encuadra dentro de las energías renovables como un tipo de energía solar de aprovechamiento directo, y dentro de los dos tipos –térmico y fotónico– está claramente encuadrado en el de aprovechamiento fotónico de la energía solar. Precisamente, la biomasa tiene la base de su obtención de energía en la clorofila, que actúa como un semiconductor y puede considerarse la molécula más importante de toda la biosfera, ya que logra que la energía solar se transforme en energía química (primer paso), actuando de la misma forma que actúa en las células fotovoltaicas. En la molécula de clorofila se distinguen dos partes: una “cabeza” y una “cola”, con una forma semejante a una cometa. La cabeza está compuesta por cuatro anillos pirrólicos unidos entre sí, formando en conjunto un macroanillo con una serie de dobles enlaces conjugados, que son los que actúan realmente como fuentes receptoras de la radiación solar. Precisamente, uno de los electrones de uno de estos dobles enlaces es el que absorbe la energía, pasando de su banda de valencia a una banda de conducción, y de ahí puede volver a su estado fundamental si no encuentra un aceptor adecuado, o bien puede transferirse a un compuesto aceptor, que se reduce y que sirve para reducir al CO_2 , tras una serie de complejas reacciones químicas. La diferencia con una célula fotovoltaica estriba en que en ésta, el electrón activado, se devuelve a su capa fundamental por medio de un conductor, y en el caso de la clorofila la reposición del electrón cedido para reducir el CO_2 se realiza a partir de las moléculas de agua, las cuales se rompen y liberan oxígeno molecular. El proceso primario por el cual se capta esa energía, que es un proceso muy complicado y grandioso, como todo lo de la Naturaleza, está perfectamente diseñado para aprovechar la energía solar de una forma muy eficiente.

Este proceso tiene lugar en las partes verdes de los vegetales, donde las células vegetales tienen en su interior unos orgánulos llamados cloroplastos, visibles con microscopía óptica. Con microscopía electrónica se puede observar en su interior una ultraestructura compuesta por una serie de dobles membranas lipoproteicas, que pueden estar de forma aislada o formando pilas (granum). Estas láminas reciben el nombre de **tilacoides** y en ellas reside la capacidad fotosintética. Visto con más detalle (como muestra la **[Figura 1]**), un tilacoide es como una especie de bolsita, con una doble membrana, en la cual se separa la parte interna de la parte externa. En la superficie de exterior de estos tilacoides están las unidades fotosintéticas, responsables directas de la captación de la energía solar. Las unidades fotosintéticas son un conjunto de unas 500 moléculas y pigmentos (clorofila y xantofila, entre otros) que actuando de forma coordinada, participan en la fase inicial de la fotosíntesis con la captación de la energía de las radiaciones visibles del espectro solar. No todas las moléculas de clorofila ceden su electrón a un aceptor final, ya que el conjunto actúa como una especie de equipo de baloncesto, en el cual una molécula que recibe la radiación y absorbe la excitación, ésta se va pasando de una a otra molécula por resonancia, y al final hay una, el que representaría al “pivot fotosintético”, que en el lenguaje biológico se denomina “centro de reacción”, transfiere ese electrón a la molécula que va a ser reducida (NADPH o nicotin-adenin-dinucleótido-fosfato reducido), que al final va a tener suficiente capacidad para reducir el CO_2 .

[Figura 1] Esquema de funcionamiento de un tilacoide



Básicamente, cuando la radiación luminosa excita un fotosistema se produce la salida de un electrón de la clorofila, quedando ésta reducida. En la parte interior del tilacoide hay unos sistemas moleculares fuertemente oxidantes, que rompen la molécula de agua, liberando oxígeno, electrones y protones. Estos electrones son los que van a regenerar la clorofila oxidada para que pueda volver a funcionar indefinidamente. Con los electrones activados se crea un poder reductor asociado a una serie de compuestos, que actuando en cadena van a producir finalmente la reducción del CO_2 . Los protones formados en la ruptura de la molécula de agua se mueven del interior al exterior de la membrana tilacoidea a favor del gradiente del campo eléctrico formado por la salida de electrones. La energía de estos protones en movimiento se acopla a una reacción química endergónica de fosforilación del ADP (adenosin difosfato) para producir ATP (adenosin-trifosfato), que acumula energía en el enlace del nuevo fosfato incorporado. La ruptura del enlace fosfato en el ATP produce 7,6 kcal por mol. Esta energía junto con el NADPH es utilizada para reducción del CO_2 y la síntesis de los azúcares que se producen como consecuencia y que representan la acumulación de la energía solar en forma de energía química.

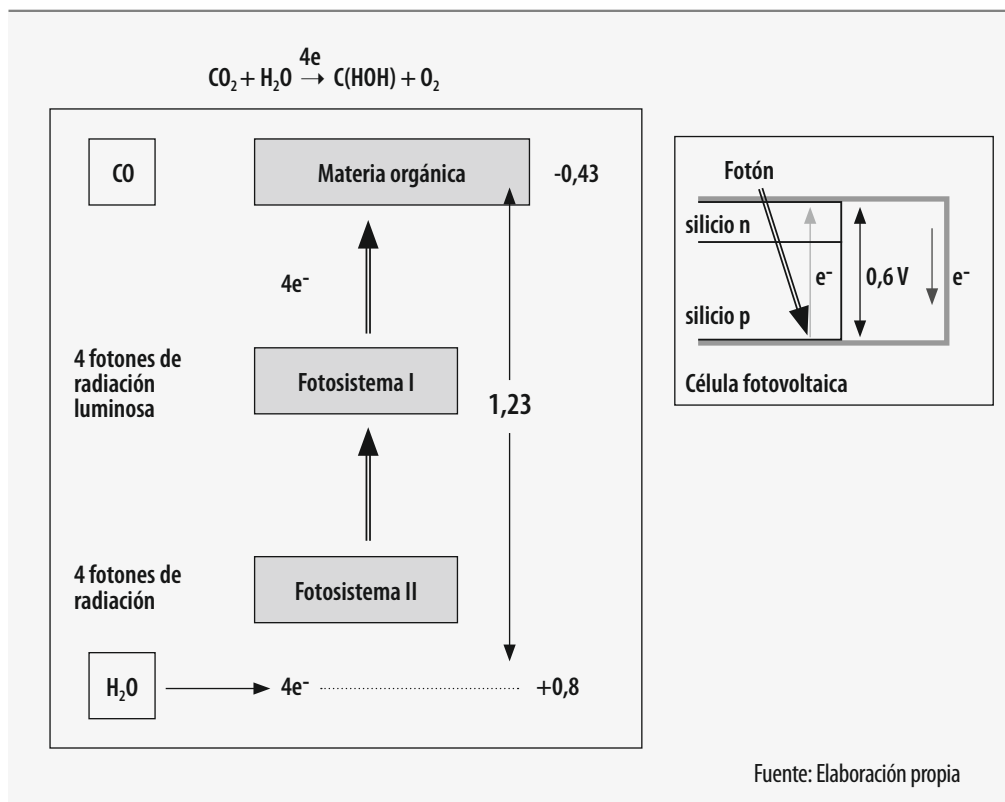
Básicamente, y comparándolo con una célula fotovoltaica, en lo que consiste el proceso fotosintético es en un salto de electrones desde el nivel potencial que tienen en el agua (+0,8 voltios), hasta el nivel potencial que tienen en la materia orgánica (-0,43). Es decir, es conseguir que los electrones del agua se activen 1,23 voltios, y esto se consigue a partir de dos motores fotoeléctricos o biofotoeléctricos (fotosistemas), que salvan esta diferencia de potencial entre el agua y la materia orgánica, y acumulan los electrones en ésta última. Esto es algo parecido a lo que ocurre en la célula fotovoltaica, aunque en este caso pasan de la capa P a la capa N, y luego se recolectan por medio de unas armaduras conductoras y vuelven a su estado fundamental. Gracias a esa diferencia potencial de unos 0,6 voltios aprovechamos la energía [Figura 2].

La diferencia fundamental que tienen los sistemas biológicos fotosintéticos respecto a los sistemas de energía solar fotovoltaica es que los sistemas biológicos producen sus propios paneles con capacidad fotovoltaica (hojas), y además llevan incorporada la batería, actuando como tal la propia biomasa de la planta.

En resumen, por medio de la fotosíntesis, se consigue que electrones del agua se activen a un nivel energético superior de 1,23 V y tengan capacidad suficiente para reducir al CO_2 y con ello formar biomasa que puede utilizarse como biocombustible y al combinarse con oxígeno (combustión) devuelve la energía solar fijada en el proceso fotosintético.

A partir de la energía solar, la planta produce inicialmente azúcares. Después, a partir de toda su cadena metabólica y utilizando parte de la energía que ha generado

[Figura 2] Esquema del transporte fotosintético de electrones a través de dos fotosistemas. Comparación con el transporte de electrones que ocurre en una fotocélula de silicio



para sus propios procesos metabólicos, va elaborando el resto de los componentes que forman la biomasa: hidratos de carbono, proteínas, lípidos y todos los demás compuestos, varios miles, que forman el metabolismo vegetal. Precisamente, todos estos compuestos son los que le dan a la biomasa un gran interés como fuente de materias primas y hacen de ésta una esperanza como sucedáneo del petróleo.

Eficiencia energética de la fotosíntesis

En lo que respecta a la eficiencia, siempre se ha dicho que la biomasa es muy abundante, pero poco eficiente. Esto es casi un postulado dentro de las energías renovables. No obstante, depende del nivel que consideremos. A nivel de la reacción primaria que está ocurriendo en los tilacoides, se necesitan ocho fotones (cuatro fotones para cada fotosistema) para transferir cuatro electrones desde el agua hasta la materia orgánica formada por la reducción de una molécula de CO_2 a través de los dos fotosistemas. Por tanto, si son fotones de radiación solar visible (de 400 a 700 nm) con una energía media de unas 49,74 kcal por mol de fotones (aplicando la fórmula

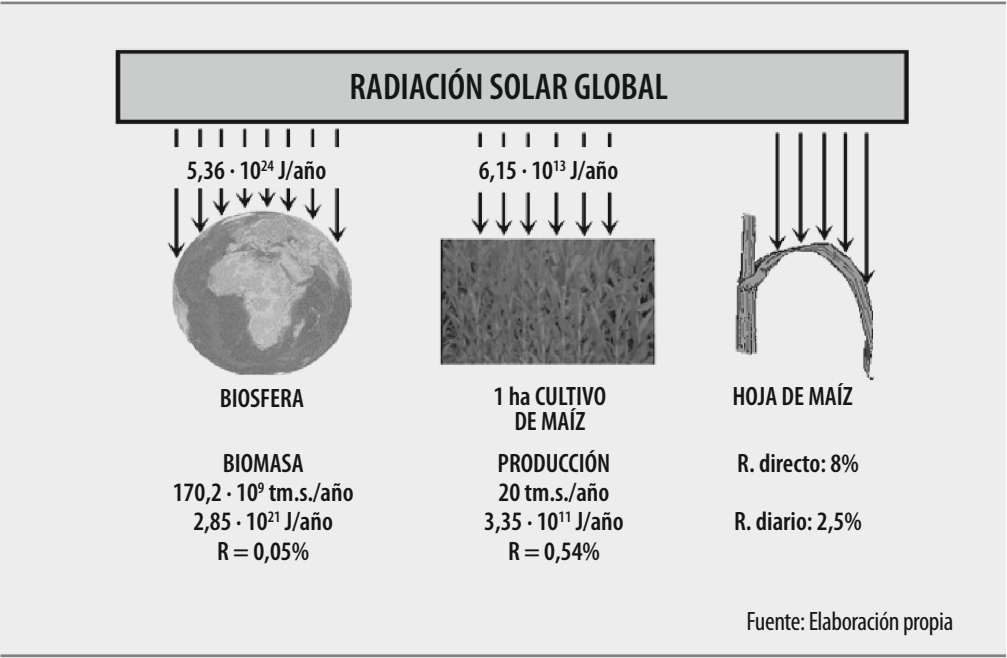
de Plank), y teniendo en cuenta que la molécula de CO_2 reducida ($-\text{CHOH}-$) tiene una energía potencial de 114 kcal/mol, la eficiencia media sería de:

$$114 / (8 \times 49,74) = 28,64\%$$

Esto representaría la eficiencia teórica, ya que en la práctica sería bastante menor. Por ejemplo, tal como se puede apreciar en la **[Figura 3]**, a nivel de toda la biosfera, contando la totalidad de la radiación que llega a la tierra durante todo el año y considerando que la biomasa total formada equivale a unos 170.000 millones (expresada en materia seca) la eficiencia global sería muy baja (0,05%) considerando como contenido energético de la biomasa total $2,85 \times 10^{21}$ J y la energía solar anualmente recibida en la tierra equivalente a $5,6 \times 10^{24}$ J. A nivel de un cultivo, aumenta diez veces más, y a nivel de la hoja, llega a alcanzar el 8 ó 10% en el momento en que está fotosintetizando. En laboratorio, iluminando algas con luz roja de baja intensidad, se han llegado a obtener eficiencias del 30%, nada despreciable desde el punto de vista teórico.

De todos modos, a pesar de tener esta eficiencia tan baja, si comparamos la energía que se fija anualmente en la biomasa por los ecosistemas biológicos ($2,85 \times 10^{21}$ J) con el consumo energético de toda la humanidad, estimado en $0,37 \times 10^{21}$ J, se obtiene un índice de autosuficiencia de 7,5, lo que quería decir que en la biosfera se

[Figura 3] Eficiencia de la fotosíntesis



produce anualmente el equivalente a 7,5 veces de energía convencional que consume la Humanidad.

Importancia de la masa como fuente de energía a nivel mundial y de la UE

La biomasa, a pesar de la poca atención que recibe la biomasa de los medios de comunicación, dentro del grupo de las renovables es la fuente energética que más se está utilizando en el mundo: 1.112 millones de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep), que es algo más del 10% del consumo mundial de energía (datos de 2004). Evidentemente, los países en vías de desarrollo son los que más biomasa consumen (65%), pero en los países industrializados también se está consumiendo una parte importante que representa un 35% del total de la biomasa que se consume en el mundo. En los países de la UE-25, según datos de Eurostat, el consumo global en 2004 fue de 72,8 Mtep, lo que representa un 6,5 del consumo mundial de biomasa.

Una de las ventajas que presenta la biomasa desde un punto de vista energético es posibilidad de satisfacer todas las necesidades energéticas de la humanidad, desde el transporte hasta la producción de electricidad, calor o materias primas para la industria. En efecto, mientras que la mayoría de las energías renovables sólo proporcionan calor o electricidad, a través de la biomasa se pueden obtener una gran variedad de combustibles sólidos, líquidos o gaseosos, desde los más sencillos y cercanos como la leña sin procesar o las astillas, hasta los más elaborados, como podría ser el hidrógeno, que también se puede obtener por vía fotosintética. Pelets, briquetas, alcoholes y biodiésel son ya combustibles que resultan familiares por su implantación gradual en la sociedad moderna.

La importancia que se concede en la UE a la biomasa se refleja en la propuesta que se hizo en el Libro Blanco de las Energías Renovables de 1997 elaborado por la Comisión de la UE, en el que se establecía un plan de crecimiento con este tipo de energías y que proponía que para el año 2010 el 12% de la energía que consumiera la UE debería ser origen renovable, duplicando la situación que había en 1995. En esta propuesta, el incremento de energía renovable estaba basado principalmente en la biomasa, con un incremento de 90,2 Mtep, lo que representaba el 83,8% del incremento global propuesto para todas las energías, incluidas la eólica y la hidráulica, cuyos incrementos considerados respecto al total representaban respectivamente el 6,1 y el 3,9%.

En la propuesta de la Comisión, la mitad de los 90 millones de toneladas equivalentes al petróleo (45 millones) deberían proceder de cultivos energéticos producidos en 10 millones de hectáreas de tierras comunitarias. La falta de promoción del uso

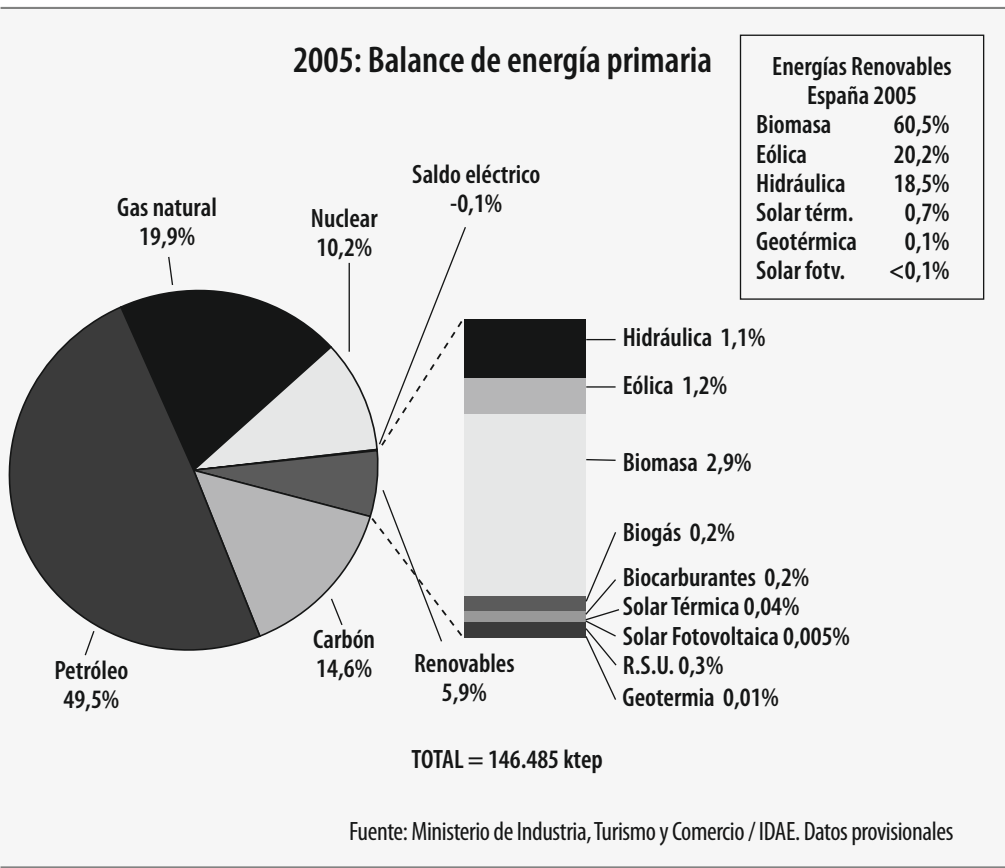
de la biomasa en general y en concreto de la promoción del desarrollo de los cultivos energéticos va a hacer imposible alcanzar el objetivo propuesto para el año 2010 en cuanto a la participación de las renovables en el balance energético de la UE.

Situación del uso de la biomasa en España

En la **[Figura 4]** se indica el balance de la energía primaria que se utiliza en España, referida a 2005, con indicación especial de la participación de las diferentes energías renovables. Según puede observarse, la biomasa en conjunto, incluyendo todas las formas de bio-energía (biocarburantes, biogás, RSU y biocombustibles sólidos) constituye el 60,5% del total de la energía primaria aportada por las renovables.

En consonancia con el Libro Blanco de las Energías Renovables de la UE, en España se elaboró el Plan de Fomento de las Energías Renovables, que se aprobó en

[Figura 4] Balance de energía primaria



diciembre de 1999 y que se reajustó en 2005 debido a que tras cinco años de funcionamiento se observó que la biomasa estaba muy lejos de cumplir los objetivos previstos, principalmente por el nulo desarrollo de los cultivos energéticos. Por ello, se reajustó el nuevo con una reducción sensible de los objetivos asignados a la biomasa y en concreto a los cultivos energéticos, al objeto de facilitar el cumplimiento de objetivos. Algo similar a lo que se hace en los malos colegios, en los que, si los niños no aprueban, en lugar de exigirles más, se baja el nivel para que aprueben todos. Rebajando el nivel, se logra el cumplimiento.

No obstante, a pesar de esta disminución de los objetivos, según se indica en la [Tabla 1], para 2010 la biomasa tiene unas metas previstas de un 60%, la eólica un 19%, la hidráulica 15,4%, la energía solar-térmica 1,9%, la termoeléctrica 2,5% y la fotovoltaica 0,2%. En cuanto a la biomasa, en este nuevo plan se ha introducido, como aspecto novedoso, la co-combustión, que puede favorecer mucho el desarrollo de la biomasa, especialmente de la biomasa agraria que se produzca cerca de los centros donde haya centrales que admitan biomasa con este fin. Las aplicaciones térmicas son las que siguen teniendo mayor porcentaje (33%), los biocarburantes 17%, y el biogás 3,7%.

[Tabla 1] Objetivos de las energías renovables en el nuevo PER 2005-2010, con especial desglose de los objetivos para los biocombustibles

Tipo de Energía	Situación 2004	Objetivo 2010	
	ktep	ktep	%
Biomasa	5.057	12.258	60,6
Eólica	1.683	3.914	19,4
Hidráulica	2.943	3.111	15,4
Solar térmica	51	376	1,9
Solar termoeléctrica	-	509	2,5
Solar fotovoltaica	5	52	0,2
TOTAL	9.739	20.220	100,0
DESGLOSE DE LA BIOMASA			
Centrales de biomasa	680	3.585	29,3
Centrales co-combustión	-	1.552	12,7
Aplicaciones térmicas	3.487	4.070	33,2
Biocarburantes	228	2.200	17,9
Biogás	267	455	3,7
RSU	395	395	3,2
TOTAL	5.057	12.257	100,0

Fuente: IDAE Plan de Energías Renovables 2005-2010

Fuentes de biomasa

Hasta ahora, la fuente principal de biomasa para su uso energético han sido los residuos, principalmente para su empleo como biocombustibles sólidos. Aparentemente tienen muchas ventajas, porque están acumulados, parece que son gratis y con su utilización se reducen los problemas medioambientales, principalmente los riesgos de incendios. En la práctica, cuando no se es propietario de dichos residuos, las aparentes ventajas no son tales, ya que no ofrecen seguridad futura ni en la disponibilidad ni de su posible gratuidad. Otro caso es el de las industrias que usan sus propios residuos con fines energéticos tal como ocurre con las industrias de pasta de papel o con las derivadas de la madera. Estas industrias que requieren calor y energía eléctrica han utilizado tradicionalmente sus propios residuos para fines energéticos, y ello les ha supuesto un considerable ahorro, no sólo en la factura energética, sino en la eliminación de los residuos.

Entre las biomasa residuales que se han venido utilizando para fines energéticos cabe destacar los residuos agrícolas, tanto de cultivos herbáceos (paja) como de cultivos leñosos (podas), los residuos forestales procedentes de las operaciones de mantenimiento de las masas forestales y de la corta y aprovechamiento de la madera en el monte, la fracción orgánica biodegradable de los residuos sólidos urbanos, los restos de las industrias de la madera y el mueble y los residuos de algunas agroindustrias, tales como las orejeras, y las de frutos secos. El principal uso que se ha dado a estos residuos ha consistido en aplicaciones para la calefacción doméstica, producción de calor en industrias o para la producción de electricidad.

La alternativa a los residuos es la biomasa producida expresamente para fines energéticos, es decir los cultivos energéticos. Hasta ahora este tipo de planteamiento es el que se ha venido utilizando para la producción de biocarburantes (bioetanol y biodiésel, principalmente), pero con cultivos tradicionales dedicados a esta finalidad. Así por ejemplo, para la producción de bioetanol se utiliza caña de azúcar en Brasil, maíz en los EE UU de América y remolacha y grano de trigo y cebada en Europa. Para la producción de biodiésel se está recurriendo a aceites vegetales baratos, principalmente aceites de colza, soja y palma. Estos cultivos han tenido tradicionalmente otros usos, pero, ante la necesidad y la falta de otras alternativas, se están utilizando para fines energéticos. En principio es la alternativa que hay, pero son cultivos que han sido seleccionados para otra finalidad, y por tanto, además de tener aplicaciones alternativas, lo que puede provocar serios problemas de abastecimiento, no están optimizados para la finalidad energética. Además, la utilización de productos que se emplean como alimentos para la producción de carburantes puede utilizarse de forma demagógica para impedir el desarrollo de los biocarburantes por parte de los sectores no interesados en el crecimiento de estos productos.

El empleo de cultivos tradicionales para usos energéticos representa una etapa inicial que no puede tomarse como definitiva en cuanto a las materias primas que

se deben utilizar de forma sostenible para usos energéticos. Es indudable que, de entre las cerca de 250.000 especies de vegetales superiores que hay en la Naturaleza, pueden seleccionarse algunas que están mucho mejor adaptadas para producir biomasa utilizable con fines energéticos que los cultivos tradicionales que se están utilizando en la actualidad, que fueron seleccionados para la producción de alimentos.

Precisamente uno de los principales objetivos actuales de la actividad agroenergética es el desarrollo de nuevos cultivos seleccionados y con criterios específicos para la finalidad energética. Estos criterios pueden resumirse en los siguientes:

- Adaptación para desarrollarse en las tierras agrícola no utilizadas en la actualidad por los cultivos alimentarios.
- Altos niveles de producción con bajos requerimientos en inputs (principalmente en agua).
- Tener un balance energético positivo, incluyendo en éste toda la cadena de producción del biocombustible.
- Ser económicamente viable.
- Ser medioambiental y socialmente aceptables.
- En definitiva deben ser cultivos que garanticen una actividad sostenible.

Como ejemplo de cultivos alternativos a la producción de bioetanol por vía fermentativa directa se han realizado experiencias con el sorgo sacarino (*Sorghum Bicolor* (L.) Moench) y la patata (*Helianthus Tuberosius* L.) para zonas de regadío, y con chumberas (*Opuntia Ficus-indica* (L.) Miller) y tabaco arbóreo (*Nicotiana Glauca* Graham) para zonas áridas. Para producción de biodiésel se están considerando nuevas especies productoras de aceite, tales como jatrofa (*Jatropha Curcas* (L.) Britton & Millsp.), ricino (*Ricinus communis* L.), carinata (*Brassica Carinata* A. Braun) y diversas especies de algas seleccionadas para esta finalidad.

Como cultivos seleccionados para producción de biomasa lignocelulósica utilizable como biocombustible sólido para la producción final de calor o de electricidad se consideran cultivos de tipo leñoso o herbáceo. Además de para producción de biocombustibles sólidos la biomasa lignocelulósica es la materia prima para los biocarburantes de segunda generación, ya sean alcoholes obtenidos a partir de hidrolizados de celulosa o productos obtenidos por vía termoquímica.

Las plantaciones de especies leñosas dedicadas a la producción de biomasa tienen una forma de cultivo especial, con densidades más altas y turnos de corta más cortos que cuando se utilizan las mismas especies para la producción de madera. Para esta finalidad se utilizan especies que tengan facilidad de rebrote después del corte, que tengan un crecimiento juvenil rápido y que aguanten fácilmente los cortes sucesivos. Se utilizan densidades de plantación variables entre 1 y 0,3 plantas por m², y los turnos

de corta están entre 2 y 6 años. Especies que se consideran para esta finalidad son los chopos, sauces, eucaliptos, olmos, acacias, etc.

Entre los cultivos herbáceos que más se han estudiado para el área mediterránea destacan la caña (*Arundo Donax L.*) y el cardo (*Cynara Cardunculus L.*). Son cultivos capaces de desarrollarse en tierras marginales y que tienen una muy alta eficiencia en el uso del agua, debido principalmente a un gran desarrollo de su sistema radicular, que utiliza el agua de lluvia en toda la profundidad del perfil del suelo. El cardo, además de producir abundante biomasa lignocelulósica (de 10 a 20 t de materia seca por ha, según la pluviometría de la zona), produce semillas ricas en aceite análogo al de girasol, que puede ser utilizado como materia prima barata para la producción de biodiésel.

Biorrefinerías como concepto integral de valorización de la biomasa

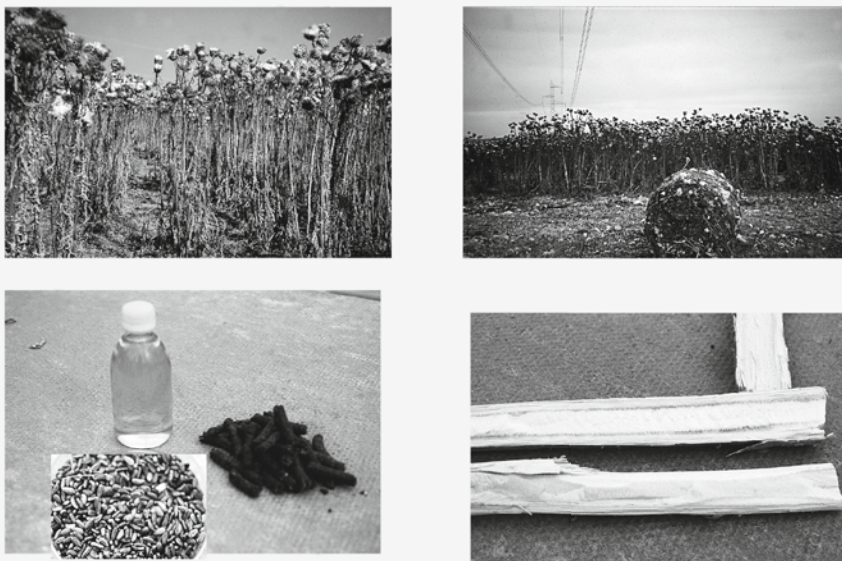
Finalmente y para completar el extenso campo que abarca la biomasa, es necesario señalar el desarrollo reciente del concepto de “biorrefinería”, en el que se contempla la obtención de toda una serie de compuestos interesantes para la industria, además de los biocombustibles, utilizando como materia prima la biomasa producida mediante cultivos específicos. Se trata de utilizar toda una serie de procesos mecánicos, extractivos, bioquímicos o termoquímicos para separar las fracciones más interesantes de cada tipo de biomasa y tratar adecuadamente a cada una de ella para valorizarla adecuadamente. Las aplicaciones térmicas serían las de menor valor, y solamente serían aplicadas a las fracciones no susceptibles de valorizarse con otras aplicaciones más rentables.

Tomando el cardo como materia prima básica de una biorrefinería [Figura 5], se puede obtener de forma directa (por tratamientos mecánicos o por separación fisicoquímica) los siguientes productos:

- Biocombustible para producción de calor o electricidad.
- Aceite y alimento para el ganado a partir de sus frutos.
- Celulosa para pasta de papel o para tableros a partir de sus tallos y ramas.
- Toda una serie de compuestos químicos de aplicación farmacéutica, tales como cinarina (hepatoprotector), silimarina (hepatoprotector y hepatorregenerador) y diversos antioxidantes contra el envejecimiento de la piel. También se puede utilizar la biomasa lignocelulósica del cardo como materia prima para obtención de bioetanol por fermentación de los hidrolizados de la fracción celulósica, para la obtención de adhesivos y aglomerantes a partir de la fracción de la lignina y diversos productos por medio de pirólisis (aceites o carbón vegetal) o gasificación, produciendo gases que por transformaciones catalíticas adecuadas pueden dar lugar a diversos productos utilizables como biocarburantes o como materias primas para la industria química.

[Figura 5] La biomasa de cardo puede servir como materia prima para biorrefinerías pudiéndose obtener por diversos procesos. Además de biocombustibles sólidos o de biocarburantes, se puede obtener aceite, alimentos para el ganado, pasta de papel, fibras para tableros y toda una serie de productos de interés farmacéutico.

EL CARDUO COMO BIORREFINERÍA POTENCIAL



Fuente: Elaboración propia

Conclusión

A pesar de que la biomasa proporciona el mayor aporte de energía primaria al conjunto de las renovables, su participación global está muy por debajo de sus posibilidades. A la vista de la evolución del consumo de esta fuente de energía, se deduce que va a ser prácticamente imposible la consecución de los objetivos del Plan de Energías Renovables, aprobado por el gobierno español para el período 2005-2010, que tenía asignado a la biomasa un 60,6 % del consumo final de renovables. Si realmente se desea que las renovables tengan una participación significativa en el balance energético global, es imprescindible tomar las medidas necesarias para fomentar el desarrollo de la biomasa en todos sus campos, y sobre todo en el área de los cultivos energéticos, imprescindibles para garantizar un suministro previsible de biomasa en cuanto a cantidad y precio, lo que garantizaría la sostenibilidad del sistema. ||

CAPÍTULO II

Aplicaciones estacionarias: generación eléctrica, gasificación y co-combustión

1. Introducción

Autor: Manuel Montes Ponce de León

Titulación: Doctor Química Industrial

Institución: Ministerio de Educación y Ciencia

Cargo: Subdirector General de Programas de Fomento
de la Investigación Técnica Sectorial

2. Co-combustión de biomasa

Autor: Antonio Elías García Martínez

Titulación: Ingeniero de Minas

Empresa: Endesa Generación

Cargo: Jefe de División de Nuevos Desarrollos
(Biomasa & GNL)

3. Utilización de orujos y alperujos como biocombustibles

Autor: Awf Al-Kassir Abdulla

Titulación: Doctor Ingeniero Industrial

Institución: Universidad de Extremadura

Cargo: Profesor Titular de Universidad

4. Gasificación de residuos biomásicos

Autores: Jesús Arauzo Pérez, José Luis Sánchez Cebrián,
Alberto Gonzalo Callejo

Institución: Instituto de Investigación en Ingeniería de
Aragón (I3A) (Universidad de Zaragoza)

Cargo: Grupo de Procesos Termoquímicos

Introducción

MANUEL MONTES PONCE DE LEÓN - MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA

España, en estos momentos, es el país de la Unión Europea que más terreno tiene sin cultivar; éste es un hecho que hay que tener presente como punto de partida. Por otro lado, la biomasa es un recurso autóctono y, por tanto, no se recurre a importaciones. La biomasa es un elemento neutro desde el punto de vista del balance de CO₂, siempre y cuando estén las plantaciones ya en marcha. Sin embargo, si se trata de plantaciones nuevas, evidentemente, supone un mayor sumidero de CO₂ para España. Por otro lado, existe un cierto desprecio hacia la biomasa, por considerarla como un recurso energético casi tercermundista. El mundo es lo que es, porque ha utilizado siempre la biomasa como energía, hasta el punto en que la biomasa, que la naturaleza se encargó de almacenar, se ha utilizado como única fuente de recursos y la energía que utilizamos es la que la naturaleza se encargó de almacenar.

¿Cuáles son las amenazas y oportunidades que tiene la biomasa?

Por un lado, en estos momentos, España importa el 80% de los recursos energéticos que consumimos. Es uno de los países de la Unión Europea que más recursos energéticos importa. Por lo tanto, todo lo que sea mirar hacia los recursos autóctonos es una obligación social y económica de este país. Por otro lado, el 80% de la energía que consumimos procede de los combustibles fósiles. Todo el mundo dice que nos quedan combustibles fósiles para muchos años, pero son limitados; desaparecerán en algún momento. Por ello es necesario buscar recursos que sustituyan estos combustibles fósiles.

Otro hecho, también importante, y que otorga la fama que tiene la biomasa, es que, en este país, únicamente se piensa en la biomasa residual, mientras que existen posibilidades de tener cultivos energéticos que, de alguna forma, podrían ser un buen

sustituto de los productos que se importan. También se tiene que tener presente que falta la logística de recogida de los productos biomásicos energéticos. Se tiene una logística para la recogida de los productos agrícolas alimenticios y de la industria de la madera, pero no se ha pensado en logística apropiada y adecuada para los recursos energéticos biomásicos.

En España existe una clara tendencia a utilizar la biomasa para la producción de electricidad. Quizás es debido a que se ofrecen incentivos económicos, pero, a lo mejor, no es la utilización más adecuada de la biomasa, sino que se debe plantear su utilización para usos térmicos directos.

Asimismo, hay que analizar también la introducción de los biocombustibles líquidos, entendidos como productos derivados de la biomasa que vayan a utilizarse como combustibles en transportes.

Existen pocas empresas tecnológicas relacionadas con la utilización de la biomasa para fines energéticos en este país. Prácticamente todas las tecnologías de las que se dispone se importan. España es, por regla general, un país que no produce tecnología; no se produce en otros sectores, pero en el de la biomasa menos. Incluso se están importando calderas domésticas de otros países. No se ha industrializado el uso de la biomasa, es decir, se está utilizando de una forma totalmente agrícola, casi continuando con la cultura agrícola que teníamos para la industria alimenticia.

Por otro lado, no se contempla lo que puede ser la complementariedad entre la biomasa y otras energías renovables, que también es conveniente tener en cuenta. Por lo tanto, aún queda mucho por hacer.

Igualmente, se debería plantear, por ejemplo, la limpieza de los bosques, que no sólo evitaría incendios accidentales o voluntarios, sino que también permitiría la producción de una gran cantidad de biomasa. Hay que crear nuevos bosques y recuperar aquéllos que en épocas medievales se talaron para construir barcos e impulsar el sector industrial, así como para fabricar herramientas, muebles y todo tipo de maquinaria. Se deben crear nuevas plantaciones herbáceas y sustituir las que se estaban empleando en la agricultura y que ahora mismo está retirando la PAC, para aprovecharlas en la producción de cultivos energéticos con la maquinaria adecuada.

Desde el punto de vista industrial y energético, todavía hay que avanzar mucho en el campo de la biomasa. Pero al mismo tiempo, hay que pensar que es un recurso que puede generar una riqueza considerable en lo que se refiere a la creación de nuevas industrias, de construcción y de nuevos sistemas para la producción de energía. No obstante, no se debe pensar que la biomasa puede utilizarse como sustituto del petróleo, del carbón o del gas. No. Tiene que pensarse que, para que la biomasa llegue a ser compatible económicamente, hay que darle el tamaño óptimo. Es necesario

pensar en otra cultura de generación más distribuida; lo mismo que ocurre, por regla general, con todas las energías renovables.

El sistema de generación debe estar más localizado y más próximo al consumo. Hay que pensar en otros sistemas de distribución.

Se tiene, por lo tanto, un nuevo sector industrial y hay que pensar en una nueva cultura de distribución y generación de esa energía. Se tiene todo un mundo por delante. Esto es lo que justifica el apoyo a todos los temas relacionados con la biomasa, ya que se puede generar mucha riqueza, muchos puestos de trabajo y, al mismo tiempo, puede suplir una gran cantidad de combustibles energéticos que se importan en la actualidad. ||

Co-combustión de biomasa

ANTONIO ELÍAS GARCÍA MARTÍNEZ - ENDESA GENERACIÓN

Endesa Generación está trabajando en el campo de las biomasa y participa en las plantas en operación de Enemansa (Ciudad Real, 16 MW, ECYR) y la Loma (Jaén, 16 MW, ECYR).

Adicionalmente a los trabajos que está desarrollando en las tecnologías de combustión y gasificación, Endesa ha trabajado en el campo de la evaluación del recurso. Se ha cuantificado la biomasa existente en las zonas donde tiene centrales térmicas y ha evaluado cómo debe ser la logística y operaciones de recogida mediante pruebas reales. En el periodo 2004-2008 se procesaron más de 1.600 toneladas de biomasa de 17 tipos diferentes. Las pruebas realizadas incluyen la recogida en campo, empaçado, trituración, almacenamiento y transporte. Todo este proceso se ha llevado a cabo de forma controlada para conocer los costes de cada operación.

La biomasa procesada incluye residuos de agricultura y forestales. Los cultivos energéticos se consideran como una alternativa de futuro, pero los proyectos no se han diseñado en base sólo a ellos porque no están disponibles en grandes cantidades.

Nuestra empresa busca tecnologías flexibles para poder utilizar diferentes productos y que no ocurra como en algunos proyectos en los que la dependencia de una única biomasa pone en riesgo los mismos al cambiar la demanda o la oferta.

La co-combustión es fundamental para el desarrollo de los cultivos energéticos. En este momento, si los agricultores plantan cultivos energéticos tienen productividades razonables, pero no tienen comprador. El problema es que al no existir demanda, tampoco existe oferta y los precios son elevados por falta de volumen de mercado. Una instalación de co-combustión capaz de consumir cultivos energéticos rompe este círculo. Aunque no se puede plantear un proyecto únicamente basado en productos que todavía no están en mercado.

Endesa dispone de la ingeniería básica de tres plantas de co-combustión y ha realizado pruebas a escala real con resultados satisfactorios dentro del rango de potencias 10-20 MW.

Como se ha indicado adicionalmente, se dispone de dos plantas de biomasa específicas, que han tenido dificultades de abastecimiento debido a las diferencias de los sistemas retributivos que hay en España y en otros países de Europa. Si la regulación se realiza de una forma simétrica, las plantas dedicadas a la biomasa podrán comprar en el mercado a precios similares a los europeos. En otro caso, sólo la co-combustión con niveles de primas similares podría competir debido a su mejor eficiencia. El escenario peor sería que la co-combustión fuera limitada a primas muy inferiores con respecto a las europeas, lo que implicaría un lento o nulo desarrollo.

¿Por qué se quiere utilizar biomasa?

Durante 2003 la compañía fijó algunas directrices para mejorar nuestra contribución al desarrollo sostenible. Mediante la co-combustión se podían abordar algunos de estos objetivos, ya que permite disminuir el impacto ambiental de las centrales térmicas, contribuir al desarrollo social en las áreas en las que la empresa tiene implantación y potenciar las tecnologías emergentes. Esta medida es complementaria a la implantación de sistemas de desulfuración, sistemas de reducción de NO_x y sistemas de optimización de la combustión.

El planteamiento es utilizar la biomasa considerándose algunas restricciones a su uso. Sólo se van a utilizar biomasa renovables, es decir, no se pretende talar bosques primarios. Tampoco se van a usar biomasa contaminadas. Se pretende, además, reducir las emisiones de NO_x y SO₂, utilizar un combustible autóctono y reducir las emisiones de CO₂.

Para consumir biomasa autóctona hay que promover el fortalecimiento de las empresas de logística en el territorio, pues el principal problema de la biomasa es la logística. También se quiere compatibilizar el desarrollo de la co-combustión con las centrales específicas de biomasa pues se considera que son complementarias.

¿Qué puede ser considerado biomasa?

En la Unión Europea existen dos definiciones de biomasa. Hay una definición amplia y otra restrictiva. La amplia la utilizan aquellos países como Holanda, que tienen una baja disponibilidad de biomasa “pura”. Estas dos definiciones han influido en la creación de dos comités de normalización.

[Figura 1]

La definición amplia incluye fundamentalmente restos de la agricultura, desechos de las industrias relacionadas con la transformación de los materiales de la agricultura, de la silvicultura e incluso, de la fracción biodegradable de los residuos industriales y municipales, así como de la madera de demolición. Esta definición proviene de la directiva de promoción de la electricidad general a partir de fuentes de energía renovable (**Directiva 2001/77/EC**).

La definición restrictiva proviene de la directiva de grandes instalaciones de combustión (**Directiva 2001/80/EC**). Se puede decir que es la misma definición anterior, pero eliminando los residuos municipales y la madera de demolición.

De la primera definición aparecen los llamados combustibles sólidos recuperados, para los que se creó el Comité Europeo de Normalización (CEN TC 343). Este Comité fue creado el 4 de abril de 2001 y está dirigido por Finlandia. El objetivo es desarrollar 26 especificaciones técnicas, cuya validación va a elevarse posteriormente a nivel de norma. El objetivo es también tener un combustible de calidad, normalizado, que pueda utilizarse en plantas de incineración y co-incineración.

En un futuro próximo los combustibles sólidos recuperados contarán con normas y estándares europeos que fijarán la calidad y requisitos para poder ser utilizados de forma segura. El problema es que va a haber una gran cantidad de estos productos. La directiva de vertederos establece un calendario para que el 75% de la materia

|Figura 2| Combustibles sólidos recuperados

orgánica que en el año 1999 iba a vertedero se destine a otros usos. El problema con los SRF es que hasta la fecha la sociedad no parece muy partidaria de las incineradoras, por lo que habrá que hay que buscar soluciones. La co-incineración, que es la utilización de SRF en cementeras, no parece una solución completa, ya que si descende la demanda de cemento el consumo de SRF's no estará garantizado. El uso de SRF en centrales térmicas no es posible en España debido a aspectos sociales y regulatorios pero, además, existen dificultades técnicas a resolver que deberían ser abordadas. No obstante, Endesa sólo considera biomasa aquellos productos que son reconocidos como tales por la Administración española, y por tanto se ha centrado en los proyectos de biocombustibles sólidos, que están contemplados en el Comité Europeo de Normalización 335. Con la estandarización además se pretende dar las herramientas al mercado y a las autoridades legislativas para distinguir entre lo que son combustibles renovables y lo que no lo son. De esta manera se podrían establecer los RECS (certificados de energías renovables).

La definición de biomasa tradicionalmente engloba todos los combustibles sólidos no fósiles, procedentes directa o indirectamente de la biomasa y susceptibles de ser utilizados en aplicaciones energéticas. No obstante los combustibles sólidos pueden transformarse en gas mediante la gasificación, o en líquidos mediante otros procesos.

¿Cuál es la situación actual de los solid biofuels?

Los países bálticos, Finlandia y Canadá, son grandes exportadores de solid biofuels, aunque en algunos de ellos como en Finlandia la tendencia puede ser a la importación futura. A su vez, algunos países nórdicos, Italia y Gran Bretaña,

importan solid biofuels del sur de América y de Asia. Por ejemplo, Holanda los está importando de Malasia o Indonesia. En la UE la co-combustión está muy primada, y algunos países son importadores de productos españoles, como el orujillo. Las plantas que estaban funcionando y estaban diseñadas para funcionar con orujillo tienen dificultades de abastecimiento, pero no por consumo interno, sino por la demanda internacional, pues la asimetría regulatoria y lo poco maduro del mercado español hace que se exporten cantidades muy elevadas. Los solid biofuels, gracias a las características de su composición, son materiales de calidad; se pueden emplear en co-combustión en grandes centrales térmicas, en plantas pequeñas de biomasa, en district heating y en aplicaciones térmicas. Asimismo, no se les aplican la directiva de incineración y se consideran materiales sin problemática social, esto es, no poseen contaminantes.

|Figura 3| Solid Biofuels



Las centrales térmicas son potenciales consumidores de solid biofuels y se necesitan estándares de calidad, un mercado estable de suministro de biomasa y un precio y retribución equilibrados que hagan viable su utilización. Nuestra empresa se está especializando en este tipo de productos. No obstante, existen diferentes calidades y disponibilidad entre los biocombustibles. En toda Europa se ha comenzado la co-combustión por los restos agroindustriales, y una vez mostrada la viabilidad de los proyectos se introducen progresivamente biomásas más complicadas.

Los productores de biomasa suelen insistir en vincular el precio de la biomasa al CO_2 , sin embargo esto tiene riesgos importantes. La co-combustión es el gran consumidor en Europa de biomasa. A medida que el precio del CO_2 sube, la demanda de biomasa baja pues las plantas ven encarecido el uso de su combustible principal, por lo que disminuyen sus horas de operación y por tanto la demanda de ambos combustibles. Algo análogo ocurre con el precio del carbón/gas. Además, el precio del carbón oscila mucho, y éste a la postre afecta al precio del derecho del CO_2 (entre 1,15 €/GJ y 2,20 €/GJ). Estos efectos se suman a las fluctuaciones de la generación hidráulica y eólica que son las que crean el hueco térmico. Durante los años secos, existe mayor producción térmica, por lo que

se necesitan más derechos de emisión. Es precisamente en esos años cuando la biomasa escasea. Uniendo todos estos aspectos y los de demanda, el predecir un precio para un combustible fósil es prácticamente imposible. Si el precio de la biomasa se intenta ligar a los factores anteriores resultará que algunos años los productores de la misma tendrá muchas dificultades, pues la biomasa tiene los costes de producción prácticamente fijos.

La realidad actual en Europa es que, en el mejor de los casos, se cierran contratos anuales en los que se garantizan cantidades pero no precio, porque los poseedores de la biomasa pretenden dejarla flotar en el mercado, bajo la hipótesis de que precios de combustibles fósiles y de CO₂ les resultarán beneficiosos. Por otro lado los co-combustores no quieren contratos a largo plazo ya que dependen de una prima que en cualquier momento puede modificarse, y además tienen el riesgo de las horas de funcionamiento, que depende del precio del derecho de emisión y del coste de los combustibles fósiles. Esta actitud es lógica, pero los combustibles se parecen bastante a la Bolsa o a la construcción y están sujetos a ciclos. Para un desarrollo adecuado de la biomasa sería conveniente crear un índice que permita indexar los precios en los contratos de suministro. Así mismo, las primas a nivel europeo deberían contemplar dicho índice.

En la **[Tabla 1]** se muestra el potencial de co-combustión por compañías eléctricas en las estimaciones que se han hecho en el plan de energías renovables.

[Tabla 1] Co-combustión en el plan de energías renovables

Empresa	Potencia (MW)	Potencia biomasa (MW)	Potencial biomasa (tep)
Endesa Generación	5.731	571,4	1.025.218
Unión Fenosa Generación	2.056	205,6	385.781
Hidrocantábrico	1.587	158,7	297.779
Iberdrola Generación	1.246	124,6	233.795
Viesgo Generación	945	94,5	177.316
Total	11.565	1.155	2.119.889

Fuente: IDAE

¿Cómo cumplir los objetivos del PER en co-combustión?

Fundamentalmente, a través de la investigación y el desarrollo. Nuestra subdirección de I+D, tiene líneas de investigación centradas en conseguir cultivos energéticos,

procesos de pirólisis, procesos de gasificación, etc. La División de Nuevos Desarrollos ha trabajado en gasificación y combustión directa y en las tecnologías de los equipos auxiliares que se necesitan. Se han realizado pruebas de gasificación en laboratorio con 17 tipos de biomasa y pruebas de co-combustión directa a escala real con cinco tipos de biomasa durante 2006. A su vez, también se están evaluando procesos de transformación física de la biomasa para la densificación como la pelletización y el empaçado, o procesos de reducción granulométrica con diferentes tipos de maquinaria.

¿Cuál es la problemática técnica de la biomasa?

El principal problema es que las biomásas españolas son diferentes a las europeas. La diferencia no radica tanto en la composición sino al grado de dispersión en el terreno, crecimiento y adecuación a la climatología. Por ello, la experiencia no es directamente extrapolable. Los países donde la utilización de la biomasa está muy primada, como es el caso de los países del centro y norte de Europa o de Italia, es donde más avanzado está su uso y han aprendido a usar el orujillo en co-combustión antes de que se haya dispuesto de un sistema de incentivos.

No hay que olvidar que la biomasa es un recurso finito y más aún si no se desarrolla la agricultura energética. Por ello, es importante insistir en que hay que hacer primar la eficiencia del utilizador. Se debe conseguir maximizar las emisiones evitadas de CO₂ con la biomasa que haya en el mercado.

El uso de los combustibles renovables en el ámbito de la generación eléctrica

Una primera forma de utilización de la biomasa es el biogás, que es una alternativa exitosa y que está siendo bien desarrollada. Otras formas de usar la biomasa es mediante la utilización de biocombustibles en motores diésel o mediante quemadores de fuel en las centrales térmicas. Las plantas dedicadas a los biocombustibles sólidos, como puede ser el caso de Sangüesa, Enemansa o la Loma, son otra alternativa al igual que la co-combustión en las centrales térmicas de carbón con biocombustibles sólidos.

La co-combustión es el reemplazo de un porcentaje del combustible fósil utilizado en la caldera de una central térmica por un combustible renovable. La biomasa no debe tener material de origen fósil y se suele limitar a un tope del 4% en energía. Este límite es muy restrictivo ya que la presencia de un poco de plástico (guías para el crecimiento de productos hortícolas) o de **rafia** hace que este límite se alcance

fácilmente, pues tiene un elevado poder calorífico. Esto hace que los residuos de invernadero puedan ser raramente aprovechados para este fin.

¿Ventajas de la co-combustión frente a plantas dedicadas a un sólo combustible?

Dado que en mayor o menor medida se usan los sistemas instalados en la central de carbón, la co-combustión reduce los costes de instalación. En general, las centrales térmicas convencionales de carbón presentan una mayor eficiencia en la generación eléctrica con biomasa; cuanto mayor sea el tamaño de la caldera, mayor será la eficiencia. Además, nos permiten algo muy importante como es la flexibilidad en la operación. Si falta el suministro, la empresa no quiebra. Las plantas que utilizan un único combustible tienen menor flexibilidad de operación. Por el contrario, en el caso de la co-combustión, esto no sería un problema, aunque se diseñaran sólo para un combustible.

Se considera que la co-combustión es la llave para la creación del mercado de la biomasa. Son consumidores que si están preparados para consumir “lo que se produzca” permitirán que los agricultores prueben con cultivos energéticos. Las plantas dedicadas únicamente a la biomasa y específicas para un tipo de biomasa se ubican en los focos de producción, contando con la ventaja de la cercanía y por tanto menores costes de transporte. Las plantas de co-combustión estarán ubicadas en los emplazamientos actuales y tienen sobrecostes de transporte frente a las dedicadas únicamente a la biomasa. Desde el punto de vista energético se puede demostrar fácilmente que el transporte de biomasa tiene sentido a distancias importantes.

Endesa se está fijando en tres tipos de productos: materiales que actualmente se encuentran en el mercado, residuos no usados y los cultivos energéticos. La flexibilidad de estas plantas será una ventaja.

Como alternativas para el uso de la biomasa para generación eléctrica estarían: las plantas dedicadas con un coste de unos 1.400-2.400 €/KW y unos rendimientos netos situados entre el 20 y el 25%. Pensando en residuos agroindustriales, la co-combustión directa tiene unos costes de instalación entre 200 y 800 €/KW, dependiendo de las modificaciones que haya que realizar y tiene un rendimiento situado entre el 34 y el 36 %. La co-combustión indirecta tiene un coste de instalación de alrededor de 880 €/KW y rendimientos del 33 al 35%.

En cuanto al tamaño de la instalación y las tecnologías probadas, las plantas dedicadas a la biomasa están entre 1 y 50 MW, la co-combustión directa está entre el 1 y el

20% de potencia de la central, y la co-combustión indirecta puede llegar a porcentajes de hasta el 15%.

¿Cuáles son las alternativas tecnológicas en la co-combustión de biomasa?

La primera alternativa es el “comilling” que consiste en mezclar biomasa en el parque de carbones, y vehicularlo a través de los molinos de carbón. Esto se ha probado con orujillo y los resultados son dispares. Cuando se introduce en los molinos se suelen tener incendios, disminución de la capacidad de molienda, ... Esto es debido a los menores puntos de ignición y de desprendimiento de volátiles frente al carbón. Además el orujillo trae hueso, que es un material muy duro, y las mesas de molienda no están preparadas para un combustible de esas características. En general este material se queda en el fondo y altera el funcionamiento de los molinos. También se pueden usar pellets siendo ésta una biomasa con más probabilidades de éxito en “comilling”, pero el problema es el bajo porcentaje de sustitución que se puede alcanzar.

La segunda alternativa consiste en introducirlo después de la molienda, ya molido, a través de un sistema de molienda particular. Esto requiere una inversión importante en equipos de trituración que cumplan la reglamentación sobre atmósferas explosivas. Si se observan las estadísticas de explosiones en Alemania, se concluye que hay más explosiones por polvo de madera que por carbón desde el año 1969 hasta 1985, incluyendo la minería. El polvo de madera es un tipo de combustible igual de peligroso que el polvo de carbón.

La tercera alternativa consiste en introducirlo en calderas a través de unos quemadores específicos. ¿Por qué en quemadores específicos? Porque la biomasa tiene una densidad y poder calorífico bajos, y se puede decir que tiene tres veces más volumen específico que el carbón.

Una cuarta alternativa es la introducción de ciertos productos de conversión térmica, como productos de pirólisis o productos de gasificación, a través de unos quemadores en caldera o de unos quemadores específicos *ad hoc* para ese tipo de gas pobre.

La quinta alternativa podría ser conectar el circuito agua-vapor de la central a una caldera de biomasa e introducir el vapor generado en esta junto con la corriente de vapor a turbina.

Bajo el término de biomasa existe un amplio rango de combustibles, cada uno diferente, y la tecnología debe adaptarse a cada biomasa. La co-combustión directa está asociada a materiales buenos. Estas biomásas tienen un gran poder calorífico, alta

densidad y humedades similares o inferiores a la del carbón. Por ejemplo, el orujillo puede tener humedades del 12% frente a la astilla, que puede tener humedades del 40%. No todo son ventajas, pues la presencia de Na y K hace que se formen compuestos corrosivos, creando problemas en sobrecalentadores y recalentadores, o incluso en economizadores. Problemas similares los originan los herbáceos.

El orujillo, la paja y los residuos hortofrutícolas pueden alterar la composición de las cenizas y dificultar la venta de cenizas. Una mala combustión con presencia de inquemados también afecta a la calidad de las cenizas. Este problema puede ser importante en co-combustión directa.

Los problemas de la co-combustión directa se centran en el acondicionamiento de la biomasa: secado, molienda y alimentación del combustible.

Dependiendo del tipo de caldera, la co-combustión indirecta puede ser una opción más interesante. Ésta es más permisiva en el rango de combustibles, tanto en lo que se refiere a poderes caloríficos como a humedades, granulometrías, etc. En este caso, la tecnología se adapta a este rango amplio y permite utilizar biomasa con reactividades medio-altas e incluso bajas, amplias granulometrías de hasta 150 mm y amplio rango de humedades de hasta 30 ó 35%. También permite un mayor rango de uso en la composición de las cenizas, aunque no siempre es cierto, porque a veces los lechos fluidos dan problemas con los puntos de fusión de las cenizas. No obstante estas ventajas indicadas de la gasificación no son siempre claras y los porcentajes de sustitución alcanzables pueden ser inferiores a los de la combustión directa. ||

Utilización de orujos y alperujos como biocombustibles

AWF AL-KASSIR ABDULLA - UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA

Se va a tratar el tema de la utilización y el aprovisionamiento de los orujos y alperujos como biocombustibles. Para ello, se comienza haciendo una breve introducción de los orujos y alperujos, la superficie del olivar y la producción del aceite de oliva, las cantidades generadas de orujo y alperujo y las características energéticas de estos subproductos. A continuación, se hablará sobre el coste del combustible y se presentará el proceso de tratamiento del alperujo, secado y combustión de orujos. Por último, se presentarán las conclusiones del tema.

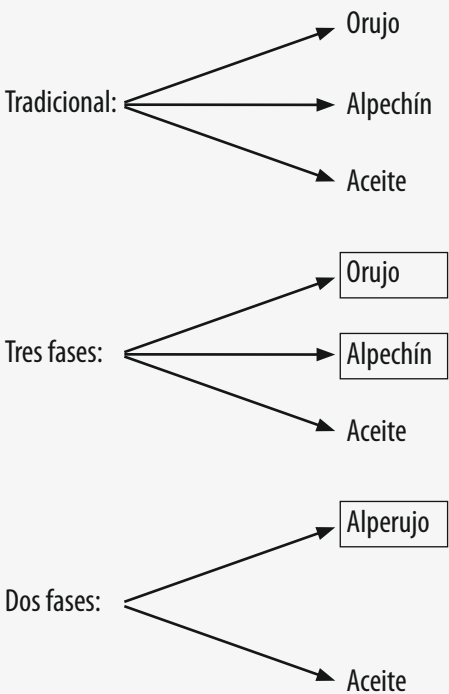
El orujo de uva lavado es un residuo concentrado de la vid procedente de las industrias alcoholeras. Los orujos y alperujos son residuos concentrados del olivar, procedentes de las almazaras que utilizan los sistemas de dos o tres fases.

En España hay cuatro comunidades autónomas productoras de aceite de oliva: Andalucía, Castilla La-Mancha, Extremadura y Cataluña. Concretamente, Extremadura representa la tercera región de España en la producción de aceite de oliva, superando las 42.000 toneladas de aceite al año, y cuenta con una superficie de olivares de más de 225.000 hectáreas. Los cultivos más significativos en Extremadura son: la vid, el olivo, el tomate, los cereales, el girasol y el maíz, que producen residuos concentrados y residuos dispersos.

Los residuos dispersos son aquéllos que aparecen distribuidos sobre el suelo agrario de forma homogénea, mientras que los concentrados son aquéllos que se presentan en la industria agro-transformadora, como consecuencia de sus procesos.

En la **[Figura 1]** se pueden ver los sistemas de producción del aceite de oliva. Existen tres sistemas: el primero es el más antiguo y tradicional, el segundo es el sistema de tres fases, que entró en vigor en los años setenta y el tercero es el sistema de dos fases, que entró en vigor en los años noventa.

|Figura 1| Sistemas de producción



Con una cantidad determinada de aceituna, empleando el sistema de tres fases, se generan orujos y alpechín como subproductos o residuos. En cambio, utilizando el sistema de dos fases, sólo se genera alperujo.

Según el esquema del proceso de la producción del aceite de oliva, utilizando el sistema de tres fases, se introducen las aceitunas en un molino y luego se añade agua. A continuación, se decanta para poder separar los componentes. De este modo, se obtiene el aceite por un lado y los subproductos (orujos y alpechín) por otro.

El alpechín es el residuo líquido constituido por las aguas de vegetación de la aceituna, mezclado normalmente con el agua añadida en el proceso. En cambio, el orujo es el residuo sólido que contiene la pulpa y el hueso de la aceituna.

El esquema del proceso de dos fases para obtener aceite de oliva es similar al anterior de tres fases, pero en este caso, tras la decantación sólo se obtiene como subproducto el alperujo.

El alperujo se puede definir como un subproducto semisólido, resultante de la mezcla de hueso de aceituna, restos de pulpa y agua vegetal. Como tiene una humedad alta, del 70% aproximadamente, hay que buscar una solución para poder utilizarlo como combustible. Es decir, hay que hacerle un repaso o un proceso de secado, etc.

En Extremadura, del orujo de uva se obtiene una media de 40.000 toneladas al año aproximadamente, siendo Almendralejo la comarca con mayor concentración. En cuanto al alperujo, éste presenta una media anual de 115.000 toneladas, y el orujo de aceituna unas 26.000 toneladas al año (datos referidos a los años anteriores al 2001).

Para poder utilizar estos subproductos o residuos como combustibles hay que estudiar sus características energéticas. Por ello, hay que calcular el poder calorífico, hacer el análisis inmediato, el análisis elemental y el análisis de la composición de las cenizas para poder determinar el contenido de los elementos alcalinos.

El poder calorífico de los alperujos y los orujos de aceituna ronda los 17 MJ/kg, que equivalen aproximadamente a 4.600 kcal/kg. Con el análisis elemental, se puede observar [Tabla 1] que estos residuos tienen un porcentaje bajo de carbono y una cantidad elevada de materia volátil; en cuanto a las cenizas, presentan un porcentaje muy bajo.

Del análisis elemental se puede destacar el bajo contenido de azufre que contienen, lo que es un aspecto muy positivo desde el punto de vista medioambiental.

El análisis de las cenizas [Tabla 2] sería interesante y significativo en el caso del empleo de estos residuos (orujo y alperujo) como abono sobre los terrenos. Pero también hay que considerar otros aspectos, como la distribución y localización de estos subproductos y el tratamiento previo necesario para su aprovechamiento con el fin de poder estimar el coste del combustible. Otro aspecto importante es la proximidad entre los puntos de generación y consumo de los residuos.

[Tabla 1] Análisis elemental de residuos

Tipo de biomasa	% humedad	% cenizas	% mat. Volátiles	% carbono fijo
Orujo de uva lavado	11,45	5,30	62,51	20,74
Orujo de aceituna	8,73	3,41	67,49	20,37
Alperujo	8,73	3,41	67,49	20,37

Fuente: elaboración propia

[Tabla 2] Análisis de cenizas

Tipo de biomasa	C (%)	H ₂ (%)	N ₂ (%)	S (%)	O ₂ (%)
Orujo de uva lavado	47,22	6,33	2,37	0,14	43,93
Orujo y de aceituna	51,65	5,93	1,04	0,09	41,29
Alperujo	51,65	5,93	1,04	0,09	41,29

Fuente: elaboración propia

Para tener una idea sobre el precio total del orujo y el alperujo, primero hay que calcular el precio de la recogida, que es el coste de la mano de obra necesaria para agrupar el residuo en el lugar de generación. También hay que contar con el precio de carga, el de transporte y el de tratamiento, que sería el más caro de todos. La suma daría el precio total de este combustible.

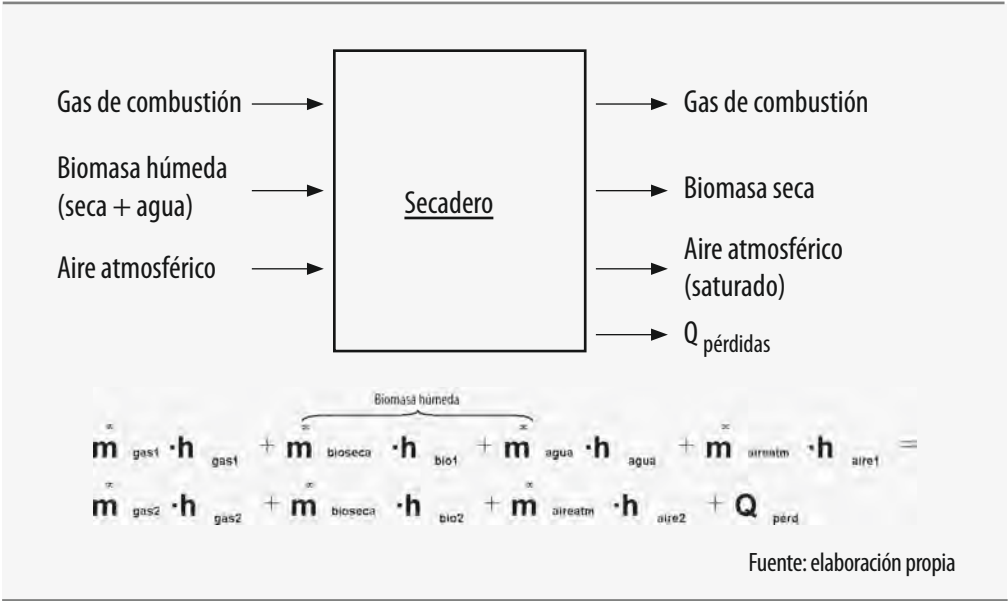
A continuación se describe un proceso general de tratamiento del alperujo para poder utilizarlo como combustible. En primer lugar, se vierte en unas balsas muy grandes para pasar luego por una separadora de pulpa y hueso, en húmedo, y extraer la mitad del hueso del alperujo húmedo. A continuación, se introduce en una almazara que trabaja en tres fases, con el fin de separar el aceite por un lado, el orujo y el alpechín por otro. El aceite se almacena hasta su venta y el orujo pasa a un secadero para reducir su humedad del 50% al 12% y, así obtener orujillo y orujo seco. Este orujillo pasa por una separadora de pulpa y hueso. Por último, el alpechín se introduce en una torre de concentración para poder quitarle la humedad, aprovechando los gases de escape del secadero, obteniéndose alpechín con una concentración del 50%.

Como se ha comentado anteriormente, el orujillo pasa por un secadero. Así, el balance energético del proceso de secado es el mostrado en la [Figura 2].

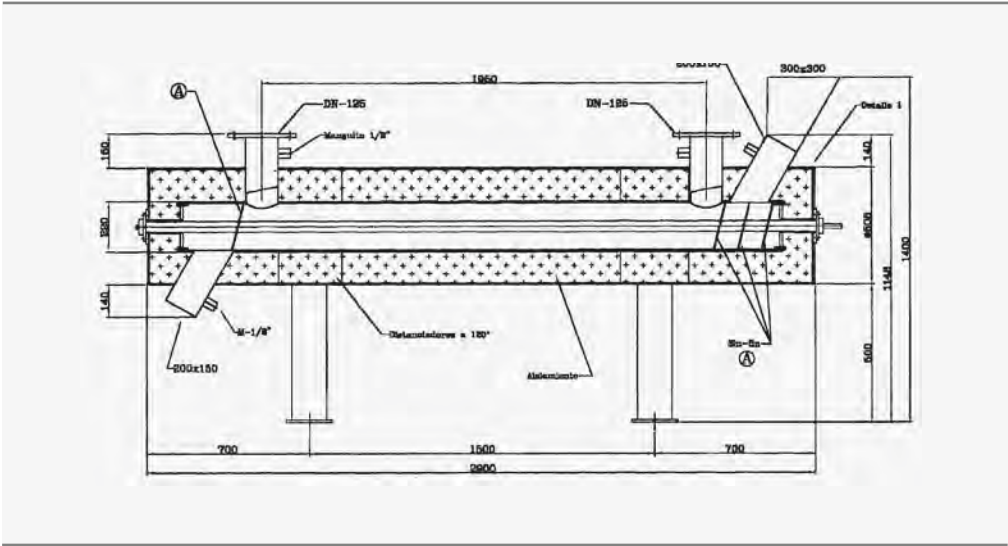
En la [Figura 3] se muestra el esquema del secadero de biomasa utilizado en los ensayos. Los resultados de uno de los ensayos realizados sobre el secado de orujos en nuestro laboratorio se muestran en la [Figura 4]. En esta figura se muestran los resultados que representan la temperatura del orujo en función del tiempo a lo largo del secadero.

En la caldera de biomasa se realiza la combustión de orujos, y se producen gases con temperaturas altas suficientemente para aprovechar en el proceso de secado de los mismos orujos. La chimenea a la salida de la caldera está conectada con el secadero a través de un conducto para poder aprovechar el calor residual de los gases producidos. Esta caldera esta preparada para poder quemar orujos secos, y también

|Figura 2| Balance energético del secado



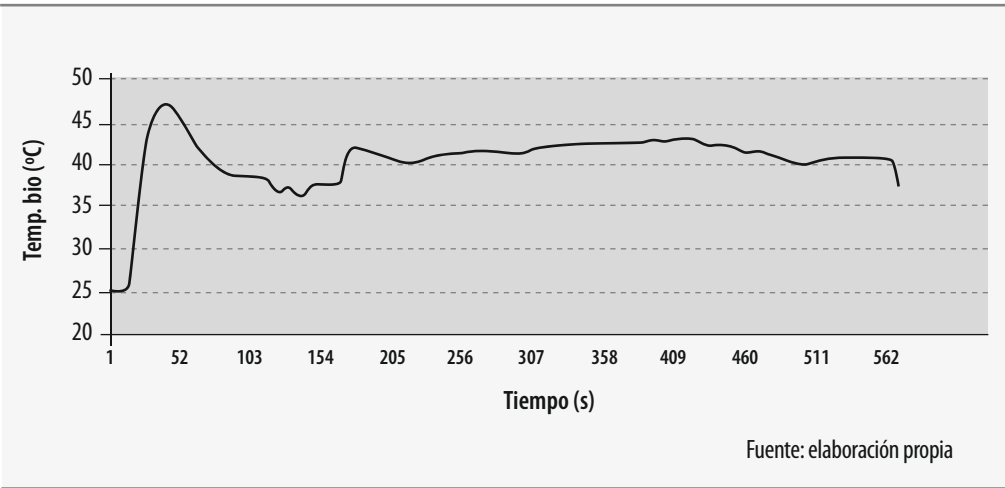
|Figura 3| Esquema del secadero utilizado



se pueden hacer varias mezclas con diferentes porcentajes de orujillo, alperujo o alpechín concentrado.

Las condiciones climáticas de Badajoz son favorables para el proceso de concentración del alpechín, porque en este proceso es necesario que la temperatura húmeda

|Figura 4| Distribución de temperatura dentro del secadero



sea baja, y en Badajoz, desde mayo hasta septiembre, la temperatura se sitúa entre los 16 y 17°C.

En la **|Figura 5|** se muestra un esquema de la caldera, de tipo parrilla. Para la concentración del alpechín, se utilizan torres de concentración.

A continuación se presenta un ejemplo práctico del procesado del alperujo. Éste subproducto pasará por las siguientes etapas:

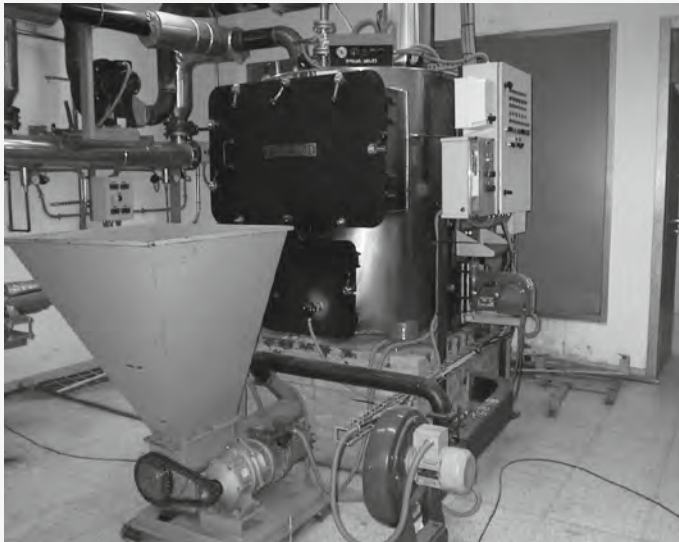
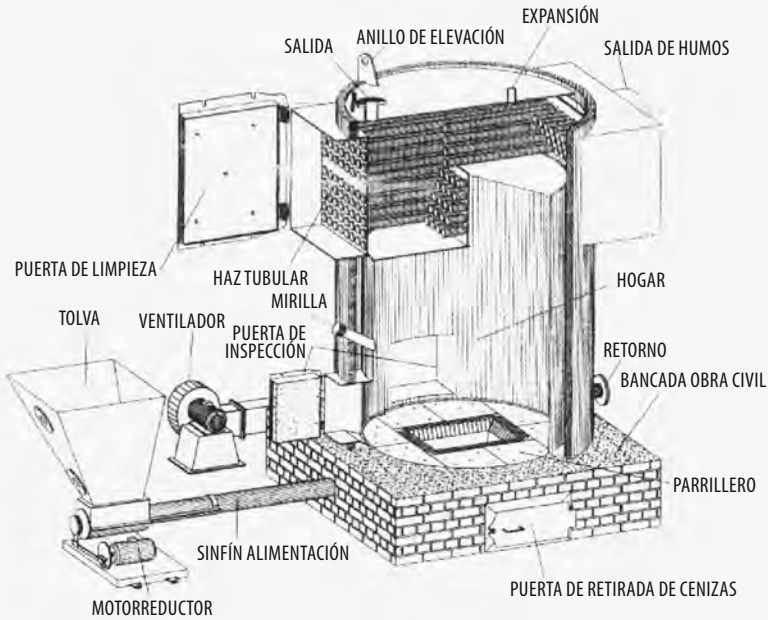
- 1) Se reciben los camiones especiales para descargar el alperujo.
- 2) El alperujo se almacena en unas balsas muy grandes, de más de 12.000 m³.
- 3) El alperujo se lleva a una separadora de hueso. A continuación, el alperujo se separan sus fases y se obtiene el orujo. Este último se introduce en un secadero para disminuir la humedad y obtener orujillo con 12% de humedad a la salida del secadero. Posteriormente, pasa por un molino, y a través de un tornillo sin fin, se separa el hueso restante del orujillo. Finalmente, se separa el hueso por un lado, y por otro, la pulpa.
- 4) Por último, se manda en camiones hasta los puntos de venta.

Existe una planta propuesta de aprovechamiento de ciclo combinado de alperujo para el aprovechamiento integral del mismo.

El alperujo se introduce en una almazara de tres fases, como se ha descrito anteriormente. Pasa a un secadero para obtener orujillo. Este orujillo se quema directamente en una caldera para producir vapor y, a través de una turbina, se produce después energía eléctrica. Por otro lado, el funcionamiento del secadero se basa en los gases calientes procedentes de un grupo de turbina de gas, que también producen energía eléctrica.

El alpechín, separado en la almazara, se puede utilizar en una torre de concentración, tras añadirle agua para condensar el vapor en el condensador del grupo de la turbina.

[Figura 5] Esquema y fotografía de la caldera tipo parrilla



Fuente: elaboración propia

Las conclusiones más destacables se pueden resumir en, que el aceite de orujo se puede vender a las industrias, la pulpa de aceituna se destina a la producción de piensos, el hueso se vende como combustible, el alpechín concentrado se destina como fertilizante, y la energía eléctrica también se vende y una parte de la misma se destina al autoconsumo.

Por otra parte, la combustión directa del alperujo en calderas requiere el uso de combustible adicional, por lo que hay que llevar a cabo un proceso de repaso anteriormente.

Finalmente, desde el punto de vista medioambiental y con referencia a las emisiones gaseosas, tienen un bajo porcentaje de CO₂. ||

Gasificación de residuos biomásicos

JESÚS ARAUZO PÉREZ, JOSÉ LUIS SÁNCHEZ CEBRIÁN, ALBERTO GONZALO CALLEJO -
UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA

Introducción

La gasificación de un sólido (biomasa, residuo, etc.) es un proceso que engloba la descomposición térmica de la materia orgánica y la acción de un gas, que reacciona principalmente con el residuo carbonoso procedente de la descomposición térmica del sólido.

Mediante la gasificación se transforma un material sólido en un gas, que puede ser aprovechado como combustible (para la generación de electricidad –en motores de combustión interna o turbinas–, de calor, o para su utilización en un ciclo combinado); o como materia prima para la síntesis de diversos productos (metano, amoníaco, metanol, gasolina).

El creciente interés por la gasificación de biomasa parte esencialmente de las ventajas que tiene frente a la combustión, ya que la producción de un gas combustible permite una mayor facilidad de manejo frente a un sólido, mayor eficiencia energética en la producción de electricidad y bajo nivel de los contaminantes generados en el proceso.

Existe una gran variedad de procesos de gasificación, los cuales dan lugar a diferentes distribuciones de productos con distintas aplicaciones finales del gas producido.

La principal clasificación de los procesos de gasificación puede hacerse en función del medio gasificante empleado, ya que se obtiene una mezcla de gases con contenidos energéticos y composiciones diferentes.

Así, pueden distinguirse los siguientes procesos:

- **Gasificación con aire:** el aire se introduce principalmente como aporte de calor al proceso, mediante la combustión de parte del residuo carbonoso procedente

de la biomasa introducida al reactor (gasificador). Se obtiene un gas combustible de bajo poder calorífico (menos de 6 MJ/Nm³), debido principalmente al alto contenido en nitrógeno del gas producido. Este gas puede emplearse como combustible en quemadores de calderas o turbinas de gas, o en equipos de combustión interna.

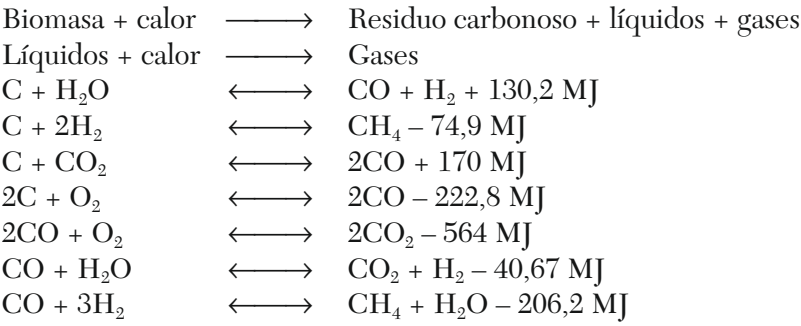
- **Gasificación con oxígeno:** se produce un gas de medio contenido energético (10-20 MJ/Nm³). Tiene las mismas aplicaciones que el gas de bajo contenido energético, pero tiene un mayor poder calorífico al no estar diluido con nitrógeno. Asimismo, este proceso se puede utilizar para obtener gas de síntesis (CO/H₂).
- **Gasificación con vapor de agua y oxígeno (o aire):** se produce un gas que al estar enriquecido en H₂ y CO se puede utilizar como gas de síntesis para metanol, gasolina, ...
- **Gasificación con H₂:** este proceso se propuso para producir un gas de alto contenido energético (más de 30 MJ/Nm³). Dado el alto porcentaje en metano y olefinas del gas producto, se pensó en utilizarlo como sustituto del gas natural.

Además del medio gasificante que se utilice, otros factores, como el tipo de reactor (gasificador) elegido o el sistema de acondicionamiento y limpieza del gas, son determinantes en el proceso de gasificación y condicionan la calidad final del gas producido y su aplicación.

Termoquímica del proceso

El proceso de gasificación es en sí mismo muy complejo, ya que tienen lugar una amplia variedad de reacciones que dependen de las condiciones de operación y del agente gasificante utilizado.

De forma muy resumida las reacciones son básicamente las siguientes:



Como se puede observar coexisten reacciones exotérmicas y endotérmicas cuyo balance térmico final se procura que sea lo más ajustado posible a fin de tener un proceso autosostenido o autotérmico.

Gasificación con aire

Dado que el proceso de gasificación con aire es autosostenido y dado que el aire es un agente gasificante fácilmente disponible, es por lo que este proceso presenta un mayor interés económico y social. En este proceso, el oxígeno del aire (introducido en defecto respecto a la cantidad estequiométrica necesaria para la combustión completa) quema parcialmente los productos de la pirólisis (proceso previo al de gasificación) y se genera el calor necesario para el proceso. Al no necesitar fuente de calor externa, este proceso permite, con un bajo costo, el aprovechamiento local en granjas, comarcas o cooperativas, de diferentes residuos agrícolas y forestales mediante su conversión termoquímica en gases combustibles de bajo contenido energético.

Existen diversos sistemas y procesos de gasificación con aire que aprovechan los más variados tipos de biomasa en función del país donde se ha implantado. Por otra parte, las tecnologías de gasificación y purificación de gases son muy diversas dependiendo fundamentalmente de la aplicación posterior del gas.

En base a estas consideraciones, y como podrá observar posteriormente, muchos de los conceptos técnicos y opiniones reflejados en los siguientes apartados están pensados para un proceso de gasificación con aire.

Tipos de gasificadores

Los tipos de reactores (gasificadores) más comúnmente utilizados en la gasificación de biomasa son los de lecho móvil (en contracorriente y corrientes paralelas), de lecho fluidizado y de transporte. Cada uno de estos reactores presenta una serie de ventajas e inconvenientes, lo que hace que su elección dependa de múltiples factores. Los principales criterios de selección son el tamaño y la densidad del residuo biomásico a procesar, la capacidad de procesamiento y la calidad deseada para el producto gaseoso a obtener. En la **[Figura 1]** se muestra un esquema básico de los gasificadores anteriormente mencionados. En la **[Tabla 1]** se resumen sus principales características.

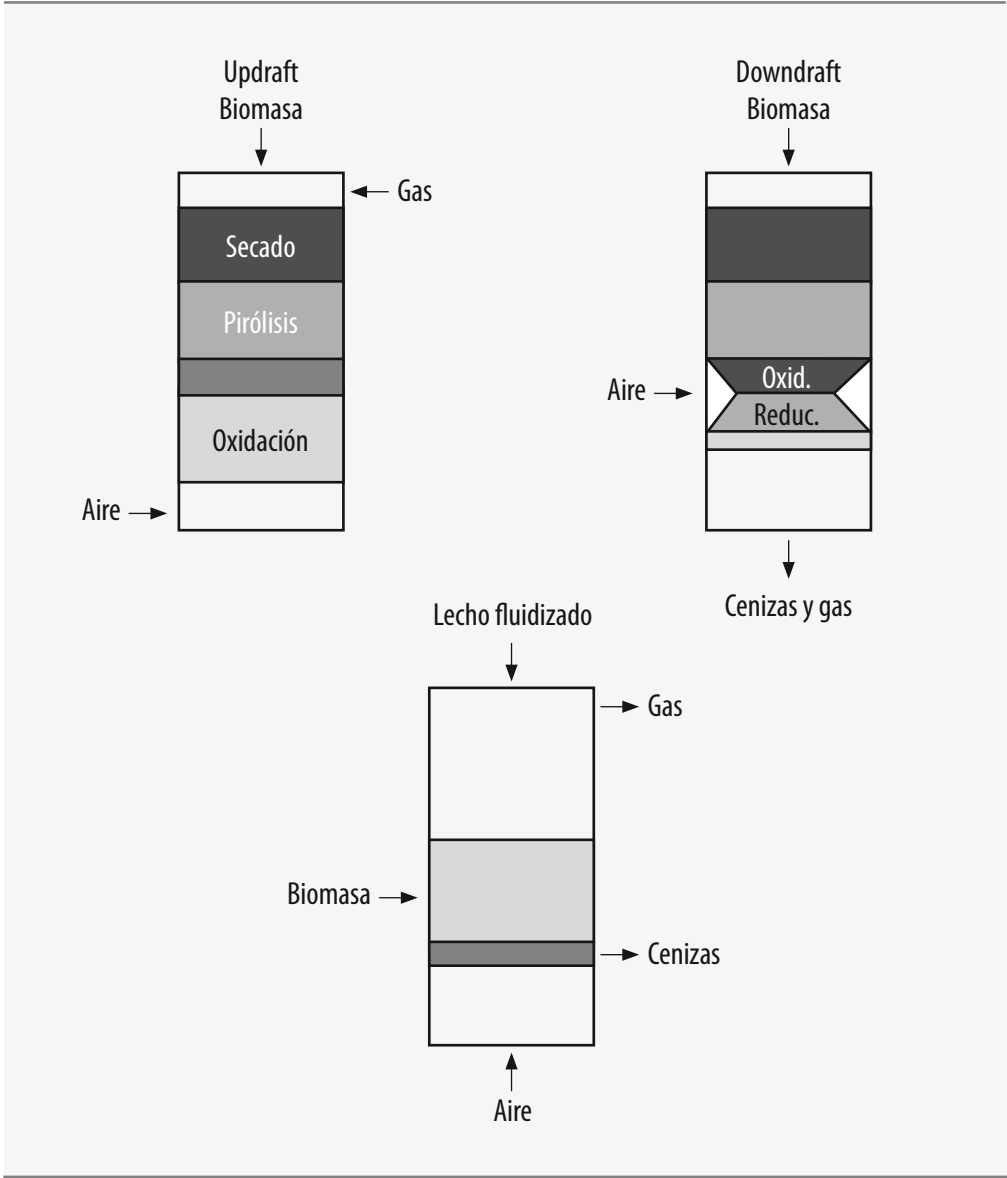
Los gasificadores más utilizados son los de lecho móvil y fluidizado, por lo que este documento se centra en ellos.

Reactores de lecho móvil

Los reactores de lecho móvil permiten utilizar un amplio intervalo de tamaños de sólidos, lo que les convierte en adecuados para cáscara de almendra, ramón de olivo, astillas, zuro de maíz, ... No son adecuados para la gasificación de residuos de

baja densidad (pajas de cereales, serrín,...) debido a la formación de canales preferenciales en el lecho, con las consiguientes zonas muertas y pérdida de eficacia. Aunque, si previamente estos residuos fueran densificados en pellets o briquetas, sí serían adecuados para su procesamiento en lechos móviles. Los reactores de lecho fijo pueden procesar cantidades de biomasa del orden de 100-800 kg/h en condiciones adecuadas.

[Figura 1] Esquema de los gasificadores de lecho fijo y lecho fluidizado



[Tabla 1] Cuadro resumen de las características más importantes de los sistemas de gasificación

Lecho móvil Down-draft	Lecho móvil Up-draft
■ Construcción relativamente sencilla ■ Combustibles con humedad < 30% (b.s.) ■ Se produce un gas relativamente limpio ■ Gases de salida a alta temperatura (menor eficacia térmica) ■ Contenido en cenizas < 10% (b.s.) ■ Capacidad de procesamiento: 100-800 kg/h ■ Alto tiempo de residencia de los sólidos ■ Potencial de escalado muy limitado con tamaño máximo pequeño ■ Alta concentración de partículas en el gas producido ■ Tamaño de partícula [20 – 100 mm] ■ Presión de trabajo [1 – 30 atm]	■ Construcción simple y robusta ■ Puede procesar combustibles con alta humedad ■ Gas con alto contenido en alquitranes ■ Baja temperatura del gas de salida (mayor eficacia térmica) ■ El gas producido es apto para su combustión directa ■ Facilidad de operación a bajo régimen ■ Elevados tiempos de residencia del sólido ■ Fácil escalado ■ Capacidad de procesamiento: 100-2.000 kg/h ■ Es necesario un buen sistema de limpieza gases para su utilización en motores ■ Tamaño de partícula: 3-30 mm ■ Presión de trabajo: 1 atm
Lecho fluidizado burbujeante	Lecho fluidizado circulante
■ Fácilmente escalable ■ Buen control de la temperatura y altas velocidades de reacción del sólido ■ Buen contacto y mezcla de gas-sólido ■ Moderado nivel de alquitranes en el gas ■ Posible proceso catalítico en el lecho ■ Mayor cantidad de partículas en el gas de salida, que en un lecho móvil ■ Limitaciones para operar a bajas cargas ■ Elevada conversión de la biomasa ■ Alta capacidad específica ■ Tamaño de partícula: 0-20 mm ■ Presión de trabajo: 1-70 atm ■ Combustibles con humedad < 60% (b.s.) ■ Contenido en cenizas < 25% (b.s.)	■ Mayor dificultad de operación que un lecho fijo ■ Buen control de la temperatura y elevadas velocidades de reacción del sólido ■ Buen contacto y mezcla gas-sólido ■ Moderado nivel de alquitranes en el gas ■ Alta conversión de la biomasa ■ Limitaciones para operar a bajas cargas ■ Alta capacidad específica ■ Facilidad para su escalado

Algunas de las diferencias más importantes entre gasificadores de lecho móvil y fluidizado, y que va a influir decisivamente en la calidad de los gases, son las derivadas del flujo del sólido en el reactor. En el lecho móvil el flujo del sólido es cercano al flujo pistón, por lo que no hay mezcla de sólidos. Por ello cuando en el reactor se produce un aumento de temperatura en una zona del mismo, por ejemplo en gasificación con aire en la zona de oxidación donde se produce una combustión parcial del residuo carbonoso, se forman perfiles longitudinales y radiales de temperatura

muy acusados. Esto origina la formación de regiones a muy distinta temperatura y que los diversos procesos implicados (secado, pirólisis, oxidación,...) tengan lugar gradualmente y en distintas zonas del gasificador [**Figura 1**], lo cual puede dificultar el control de los productos a obtener.

Es importante resaltar que un lecho móvil la pirólisis tiene lugar en una zona de relativamente baja temperatura (300-400°C), por lo que se forman productos condensables, principalmente alquitranes (en terminología inglesa “tar”).

Si se opera con flujo de contracorriente, estos productos condensables son arrastrados por el gas hacia zonas de menor temperatura y fuera del gasificador. En consecuencia, el gas obtenido contiene mucho alquitrán y polvo, por lo que es necesaria su purificación antes de ser utilizado como combustible en motores de combustión interna. Sin embargo, puede tener aplicaciones directas en el secado de materiales y en generación de vapor en calderas modificadas, mediante su combustión directa.

Este inconveniente se evita en parte utilizando un reactor de flujo en paralelo (gasificador downdraft). En este caso, el flujo descendente del gas arrastra los alquitranes procedentes de la pirólisis hacia la zona de oxidación que se encuentra a elevada temperatura (1.000-1.200°C), donde se consigue su craqueo y/o descomposición. La zona de oxidación suele ser de menor diámetro que el resto del reactor, creando un estrechamiento o garganta a través de la cual los productos de la pirólisis son forzados a pasar. Existe una cuarta zona en el reactor, la zona de reducción. En esta zona tienen lugar un nuevo proceso entre el residuo sólido proveniente de la zona de oxidación y el gas generado en las etapas anteriores (en el caso de corrientes paralelas). Este último contacto sólido-gas agota el residuo sólido (carbón) lo que permite obtener mayores cantidades de CO y H₂ en los gases producto, aumentando su contenido energético. Al ser un gas relativamente limpio de alquitranes y de una cierta calidad se puede utilizar directamente (debido a su alta temperatura de salida) en quemadores de calderas, o, si se enfría y depura previamente, en motores de combustión interna.

Reactores de lecho fluidizado

En un lecho fluidizado, y debido al previsible flujo de mezcla perfecta del sólido, no existen gradientes de temperatura. Esto hace que el proceso de previo de pirólisis tenga lugar a alta temperatura (alrededor de 800°C) y alta velocidad de calentamiento del sólido. Asimismo, este reactor favorece el control de la temperatura del proceso, pudiéndose conseguir la distribución del producto deseado. Estas características permiten que el gas producto se pueda utilizar, además de en las aplicaciones ya señaladas, para la obtención de gas de síntesis (CO/H₂).

Para lograr una buena fluidización, el tamaño del residuo debe ser inferior a 2 cm, lo que hace que normalmente sea necesaria una trituración previa, con el consiguiente

costo. Además, es necesaria la adición de un sólido coadyuvante de la fluidización, generalmente arena. La gran diferencia en tamaño, densidad y forma de ambos sólidos puede originar una fuerte segregación en el lecho, lo cual aleja el flujo del sólido del de mezcla perfecta y se pueden producir perfiles de temperatura en el gasificador, con los consiguientes inconvenientes que de ellos se derivan. Por otro lado, existe la posibilidad de introducir catalizadores junto al agente coadyuvante de la fluidización para reducir la cantidad de alquitranes generados.

Para un mismo volumen de reactor, un lecho fluidizado permite procesar una mayor cantidad de sólido que un lecho móvil. La capacidad de procesamiento de un lecho fluidizado se sitúa entre 600 y 6.000 kg/h de biomasa.

Biomasa

A la hora de procesar un residuo biomásico, las características que se consideran fundamentalmente son: el tipo de biomasa/residuo, su tamaño, densidad y humedad.

Las biomásas lignocelulósicas presentan una serie de características que hacen que sea posible su aprovechamiento mediante gasificación. Junto a las características ya conocidas (recursos renovables, bajos costes de producción, no presentan problemas ambientales) se pueden citar las referentes a su composición. Su análisis elemental indica que están formados básicamente por: C (50-60%), O (30-40%), H (5-7%), algo de nitrógeno y que carecen prácticamente de azufre. Los compuestos más abundantes son los celulósicos de 30-40%, los hemicelulósicos de 24-35%, y los lignínicos de 15-30%. Presentan un alto porcentaje de materia volátil (75-85%) y muy bajo en cenizas (<5%). Su poder calorífico superior suele estar comprendido entre 3.500 y 4.800 kcal/kg.

El tamaño, densidad y humedad adecuados depende del tipo de gasificador que se vaya a utilizar. En un lecho móvil a contracorriente, el flujo ascendente de gas procedente de la zona de pirólisis realiza el secado de la biomasa introducida; así, el sólido alimentado puede tener un contenido en humedad de hasta el 40%. En cambio, en un gasificador de corrientes paralelas, el calor que llega a la zona de secado se transmite principalmente por radiación, por lo que la biomasa alimentada debe tener menores contenidos en humedad, hasta un 30%. Análogamente, un alto contenido en humedad de la biomasa en un lecho fluidizado repercute negativamente en la transferencia de calor en el lecho.

Como ya se ha indicado en un lecho fluidizado, debido a la dificultad de fluidizar estos residuos, los tamaños deben ser inferiores a 2 cm. En lechos fijos se puede utilizar un rango más amplio de tamaños de partícula, pero una distribución de tamaños inadecuada puede producir problemas de atascamiento. En la **[Tabla 1]**, ya indicada, se han reflejado para cada gasificador el rango de tamaños de partícula más adecuado.

Aplicaciones del gas de gasificación

La utilización del gas producto mediante su posterior combustión puede tener diversas aplicaciones entre las que se pueden citar:

- a) **Producción de calor para usos industriales.** El sistema constaría fundamentalmente de gasificador y quemador. El gas puede sustituir a otros combustibles convencionales (gasoil, fuel, ...) y sería un combustible muy limpio y sin problemas de contaminación.
- b) **Producción de electricidad en zonas aisladas.** El sistema constaría de gasificador y grupo electrógeno, y se podría aprovechar *in situ* residuos forestales, por ejemplo, para bombeo de agua.
- c) **Producción de calor para el secado de granos,** como por ejemplo de maíz, aprovechando el zuro e incluso los tallos como materia prima para la gasificación.
- d) **Producción de vapor de agua.** El sistema constaría de gasificador y caldera.

Cada una de las aplicaciones requiere unas propiedades para el gas, sobre todo en la cantidad de alquitrán y partículas sólidas permisibles. En la [Tabla 2] se muestran las principales características de operación de los gasificadores. En la [Tabla 3] se indican los rangos de cantidades de alquitrán y partículas que se generan en los diferentes tipos de gasificadores. Estos rangos depende sustancialmente del tipo de biomasa/residuo y de las condiciones de operación.

[Tabla 2] Principales características de operación de los diferentes tipos de gasificadores

Reactor	Temperatura (°C)		Alquitrán	Partículas	Escalado	Capacidad máx. (T/h)	MWe	
	Reacción	Salida					Mín.	Máx.
Down-draft	1.000	800	muy bajo	moderado	limitado	0,8	0,1	0,7
Up-draft	1.000	250	muy alto	moderado	bueno	10	1	10
Burbujeante	850	850	medio	alto	bueno	20	1	50
Circulante	1.000	850	bajo	muy alto	bueno	20	5	100

De los valores de ambas tablas [2 y 3] se puede observar como en aquellos casos en los que se necesitan bajas cantidades de alquitrán se deben utilizar gasificadores de lecho móvil en corrientes paralelas. Por ello, una buena parte de los procesos para obtener electricidad a pequeña escala usan este tipo de gasificador.

[Tabla 3] Concentración de sólidos y alquitrán en el gas según el tipo de gasificador

Tipo gasificador	Alquitrán (mg/m ³)	Partículas sólidas (mg/m ³)
Lecho móvil en contracorriente	10.000-100.000	100-1.000
Lecho móvil en corrientes paralelas	40-300	100-6.000
Lecho fluidizado y de transporte	2.000-10.000	10.000-100.000

El rendimiento a gas en ambos gasificadores es similar. En un gasificador de lecho móvil, está entorno al 75-85% y en un gasificador de lecho fluidizado entorno al 70-85%. Obviamente estos datos dependen del tipo de biomasa o residuo utilizado. Asimismo, la cantidad de gas generada en un gasificador de lecho móvil, varía entre 2 y 2,2 Nm³ de gas producido por kilogramo de biomasa alimentada al mismo y en un gasificador de lecho fluidizado este valor apenas varía situándose entre 2,1 y 2,4 Nm³/kg de biomasa alimentada.

La composición del gas producido también es muy similar en ambos reactores, como se puede observar en la [Tabla 4].

[Tabla 4] Composición aproximada del gas producto

Tipo gasificador	Composición del gas seco (vol. %)					
	H ₂	CO	CO ₂	CH ₄	N ₂	PCS (MJ/Nm ³)
L. móvil downdraft	9	14	20	7	50	5,4
L. fluidizado	14	21	13	1	48	5,7

Factores externos al proceso

Existen otros factores a considerar que se van a mencionar brevemente.

a) Requerimientos de personal

El número y cualificación de personal a emplear en una planta de gasificación dependerá fundamentalmente del tamaño de la planta tipo, del modelo de gasificador y del grado de automatización de cada componente del sistema.

La automatización principalmente está en el sistema de alimentación y en la retirada de cenizas. Además habrá que considerar el grado de sofisticación de cada uno de los componentes, pues de esto dependerá el que la/s persona/s encargadas del control deba/n o no tener conocimientos especiales para ejercer ese control con seguridad y eficacia.

En general la tendencia es que el requerimiento de personal y su especialización sea mínimo, lo cual es posible sobre todo en la gasificación de lecho móvil.

b) Aspectos ambientales

En general estos procesos presentan pocos problemas ambientales.

El bajo contenido en azufre y nitrógeno de los residuos lignocelulósicos impide la formación de los correspondientes compuestos problemáticos en este tema. Además, en general, el contenido en cenizas es pequeño.

Los únicos problemas que se pueden originar son los correspondientes al alquitrán y partículas sólidas que se han discutido anteriormente.

c) Costos

Evidentemente, este factor es determinante en la selección de un proceso, aunque quizás es el aspecto sobre el que resulta más difícil establecer criterios generales.

En un análisis de sistemas de conversión de energías alternativas no se puede presentar la información sobre costos de forma consistente, ya que los diversos constructores ofrecen diferentes tamaños de unidades y diferentes objetivos de abastecimiento. Los costos de instalación dependen altamente del emplazamiento, por lo que los fabricantes no suelen proporcionar precios para sistemas típicos. De forma general, se puede mencionar que los costos de instalación y de equipos auxiliares –tales como el manejo y procesamiento de la biomasa, la liberación de la energía y los aparatos de control de polución y tratamiento de gases– pueden incrementar drásticamente el costo total del sistema. En la mayoría de los casos el costo de la instalación es de 1,5 a 2 veces el capital del gasificador.

A fecha de junio de 2005 y desde distintos foros de trabajo, se consideraba que los costes de una planta de gasificación estaban en torno a de 2 MM euros por MWe instalado. Este dato debe tomarse con una cierta precaución, pues son muchos los condicionantes de los que depende.

Otros factores que pueden afectar al análisis económico incluyen la mayor demanda eléctrica, aislamientos, etc.

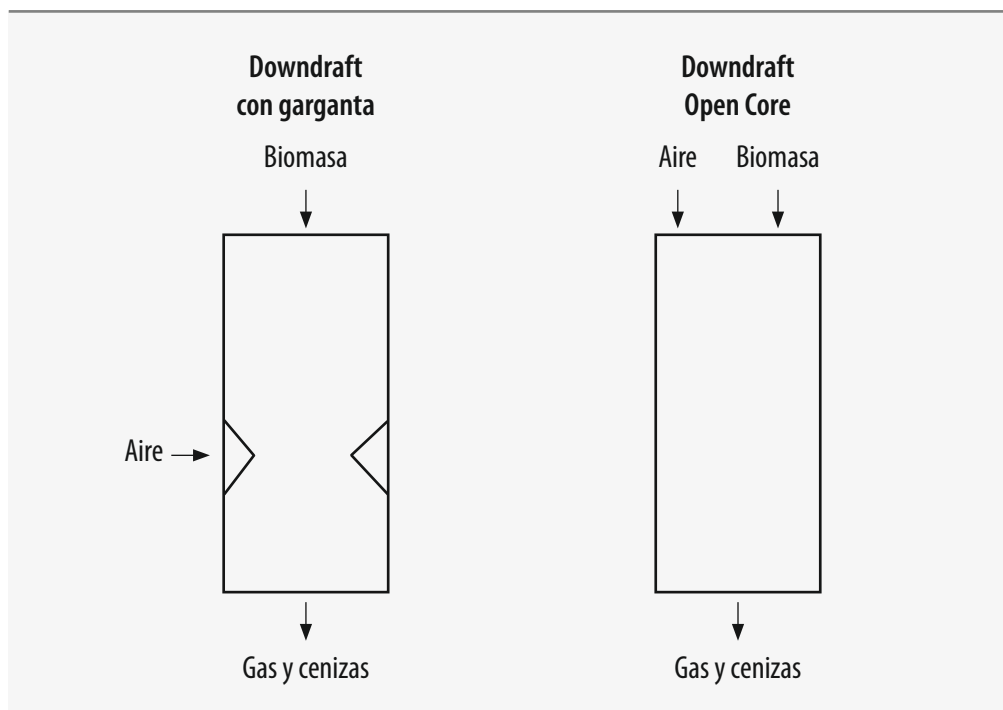
Gasificador de lecho móvil en corrientes paralelas

Dada la experiencia que se posee en este tipo de equipos y su versatilidad, a continuación se detallan con mayor profundidad aspectos referentes al mismo.

Los gasificadores de lecho móvil en corrientes paralelas tipo downdraft son aquéllos que presentan un flujo del sólido y del gas en el mismo sentido. El material a gasificar forma un lecho de partículas que van descendiendo lentamente conforme van siendo consumidas por el proceso y retiradas las cenizas. El espacio libre entre partículas es ocupado por el gas generado en el proceso y el agente gasificante aportado, los cuales circulan en sentido descendente hacia la salida de gases del equipo que se encuentra en la parte inferior.

Básicamente se presentan dos configuraciones de este tipo de gasificador, los denominados “Open Core” y aquéllos que incorporan una garganta. Éste último diseño es el más extendido.

[Figura 2] Gasificadores de lecho móvil Downdraft



En el gasificador de tipo “Open Core”, tanto la biomasa como el agente gasificante entran por la parte superior del gasificador, no presentando éste variaciones significativas de diámetro a lo largo de su cuerpo. En este tipo de gasificador resulta

complejo delimitar las zonas, pudiéndose considerar que se encuentra dividido en dos zonas. Una primera zona en la parte superior de pirólisis/combustión y otra de gasificación del residuo carbonoso en la parte inferior.

En los gasificadores Downdraft con garganta se pueden distinguir claramente cuatro zonas, así conforme la biomasa descende por el gasificador se pueden distinguir: secado, pirólisis, oxidación y reducción. Estas zonas conforman el perfil de temperaturas que se muestra en la **[Figura 3]**.

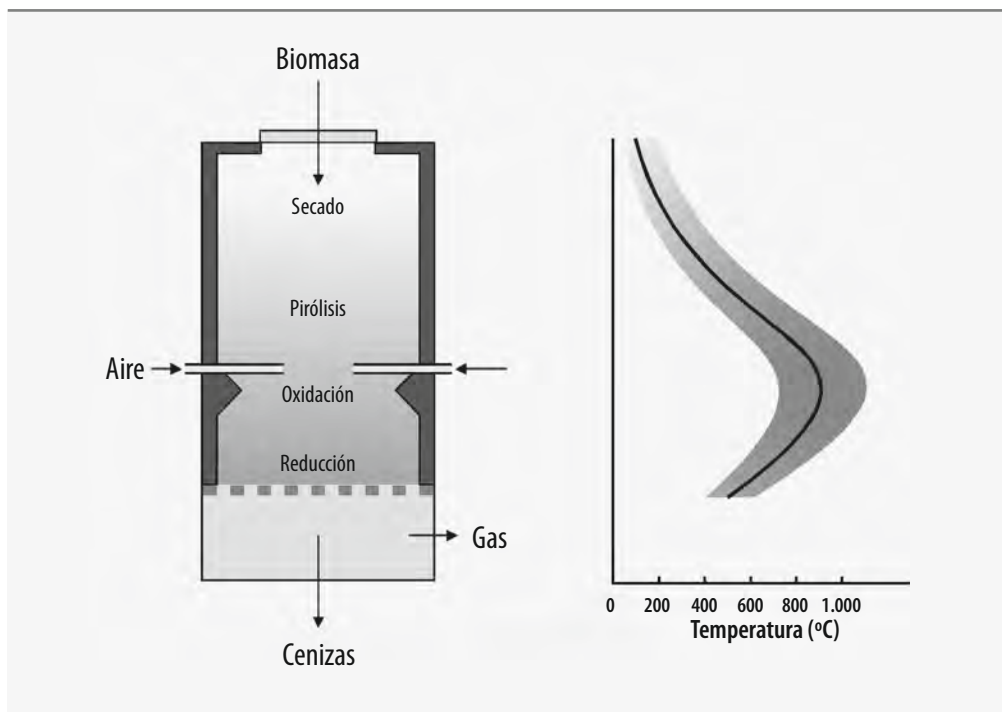
La biomasa, al entrar al gasificador por la parte superior e ir descendiendo va sufriendo los siguientes procesos:

- 1) En primer lugar y por el calor que le llega por conducción desde la parte inferior la biomasa se calienta hasta 200°C, lo que produce el secado completo de ésta.
- 2) Conforme continúa el descenso la biomasa, y a partir de los 250°C, se inicia el proceso de pirólisis generándose gas, alquitranes y un residuo carbonoso, denominado “char”. Dado que la pirólisis se produce lentamente y a temperaturas relativamente bajas la fracción de biomasa convertida en alquitrán es muy alta.
- 3) Seguidamente aparece la zona de oxidación donde se produce la inyección del agente gasificante (aire, oxígeno...). Éste reacciona rápidamente con los gases combustibles procedentes de la pirólisis, alquitranes y residuo carbonoso, elevando la temperatura en esa zona hasta niveles de 1.000 a 1.200°C; estas elevadas temperaturas logran el fraccionamiento (“cracking”) de gran parte de los alquitranes presentes.
- 4) Finalmente, se alcanza la zona de reducción donde se produce la gasificación del char por parte del CO₂ y vapor de agua presentes en el gas producto, el cual rectifica su composición conforme al equilibrio gaseoso del conjunto de reacciones, que tiene lugar a temperaturas entorno a 700°C. De esta zona salen la corriente final de gas producto, una corriente de cenizas y restos de “char” sin gasificar.

Como puede observarse en la **[Figura 4]**, una configuración típica de este tipo de gasificadores consta de los siguientes elementos.

I Sistema de alimentación de biomasa

Dado que la alimentación de estos gasificadores se realiza por la parte superior es necesario un sistema de elevación de la biomasa hasta el punto de alimentación. El sistema de alimentación ha de permitir el flujo de un material con una amplia granulometría, lograr una alimentación relativamente continua y garantizar a su vez la estanqueidad necesaria para evitar la salida de los gases de pirólisis. Uno de los sistemas preferidos es la utilización de una cámara de carga intermedia delimitada por válvulas de tajadera.

[Figura 3] Perfil de temperaturas en el gasificador Downdraft

I Cuerpo del gasificador

El cuerpo del gasificador, por lo general de forma cilíndrica, ha de poseer, entre otras las siguientes características, resistencia a la temperatura, resistencia estructural, resistencia a la fricción y aislamiento térmico del interior. Dado que no es fácil conseguir con un solo material todas estas características, los gasificadores se construyen con diferentes capas de materiales. Una capa de acero que le da la resistencia estructural y la capa de aislante térmico y refractario aísla térmicamente y ofrece resistencia mecánica interna.

Un buen control del proceso de gasificación se centra en mantener el adecuado perfil de temperaturas a lo largo del gasificador.

Dado que la zona de la garganta es crucial a la hora de lograr un gas libre de alquitranes se ha de tener especial cuidado en su diseño, por ejemplo, una inclinación adecuada, en torno a 45°, facilita el deslizamiento de la biomasa y permite delimitar la zonas de pirólisis, oxidación y reducción. Por otra parte el área de paso de la garganta determina, entre otros factores la capacidad de procesamiento de biomasa. En los gasificadores tipo Downdraft el parámetro que se utiliza para el diseño de la garganta es entre 0,1 y 0,7 kg/m² s.

La distribución uniforme del agente gasificante a lo largo de la superficie de la garganta, representa otro de los puntos clave en el diseño del cuerpo del gasificador. Se ha de disponer de un número suficiente de salidas de aire que garanticen una buena penetración del flujo. En este aspecto toma una gran importancia la granulometría de la biomasa, ya que tamaños de partículas muy pequeños dificultan la correcta penetración del aire.

Otro elemento significativo en este tipo de gasificadores lo constituye la parrilla, donde se encuentra sustentada toda la biomasa sometida al proceso de gasificación; adicionalmente a esta labor de soporte, la parrilla ha de permitir una correcta evacuación de las cenizas y restos de “char” sin gasificar. La velocidad con que estos sólidos son retirados permite calcular el tiempo de residencia de los mismos en el gasificador. Se ha de llegar, siempre, a un compromiso entre el aprovechamiento térmico del residuo carbonoso y la retirada de cenizas del gasificador en función de la capacidad de procesamiento.

El diseño de este elemento puede tomar formas muy diversas, platos perforados, discos superpuestos excéntricamente y una infinidad de diseños más. En un principio para su diseño se han de considerar la cantidad de cenizas a extraer, la granulometría de éstas, la pérdida de carga del gas al atravesarla, su coste de construcción y mantenimiento, etc.

Finalmente, se ha de dotar al gasificador de un sistema de retirada de las cenizas que evite su acumulación en la parte inferior.

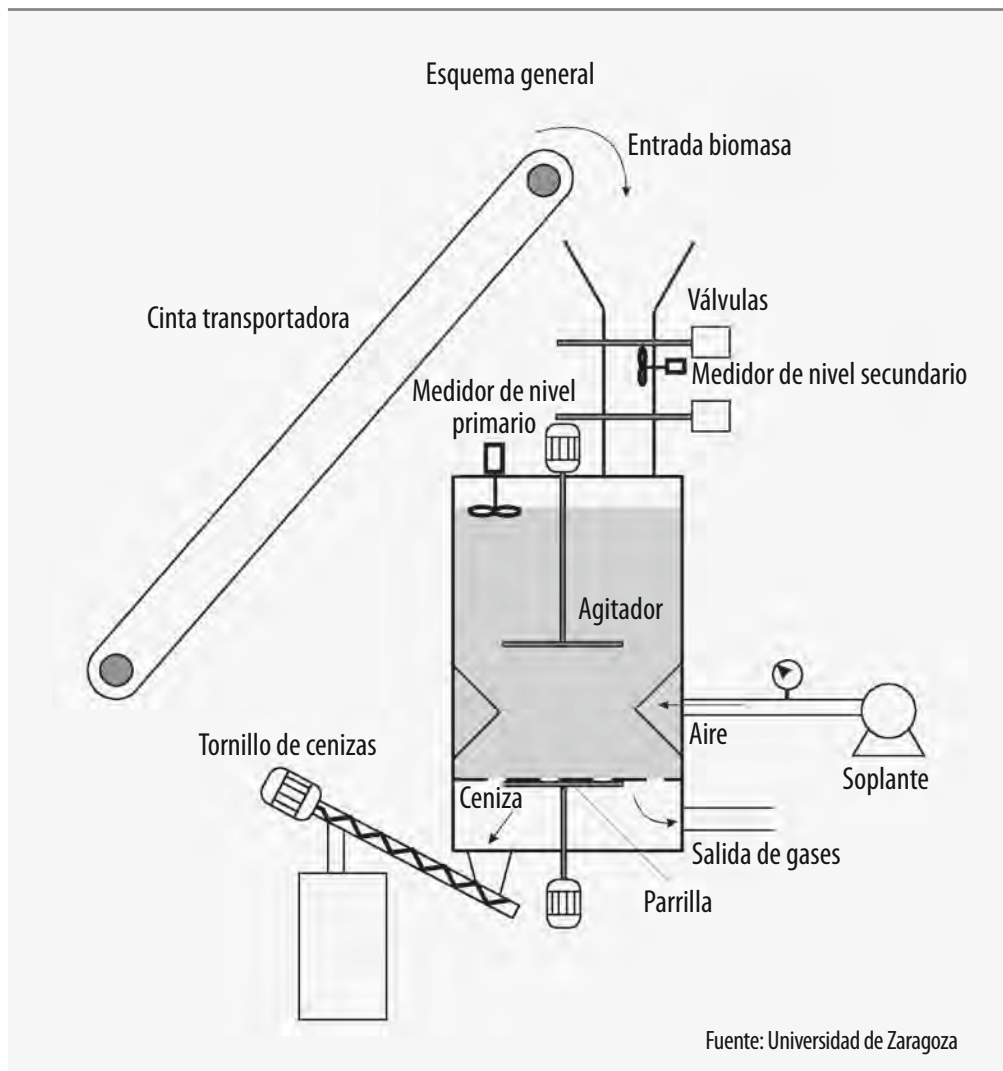
A modo de resumen, la **[Tabla 5]** presenta una serie de datos técnicos generales sobre los gasificadores tipo Downdraft.

Rendimientos del proceso

Un buen gasificador convierte combustibles sólidos en gases con las mínimas pérdidas de energía posibles. Las pérdidas de calor más importantes en la gasificación de residuos biomásicos en un lecho móvil en corrientes paralelas se derivan del calor sensible del gas combustible obtenido (por su alta temperatura de salida, $\sim 700^{\circ}\text{C}$). En menor medida contribuyen las pérdidas a través de la pared del reactor y tuberías y el calor sensible de las cenizas extraídas del gasificador. Para un mejor rendimiento térmico (energético) se suele aprovechar parte del calor sensible de los gases, por ejemplo, en precalentar el aire de gasificación.

El aporte de calor es exclusivamente debido a la combustión parcial de parte de la biomasa en la zona de oxidación.

[Figura 4] Esquema general de un gasificador downdraft con garganta e inyección lateral de aire



El rendimiento o eficacia del proceso (η) se suele definir como:

$$\eta = \frac{(\text{rendimiento a gas}) * (\text{poder calorífico del gas})}{(\text{poder calorífico de la biomasa})}$$

Considerando un poder calorífico para la biomasa entre 3.500-4.000 kcal/kg, y que las pérdidas de calor al exterior suelen ser inferiores al 10% de este poder calorífico,

[Tabla 5] Datos técnicos específicos de los gasificadores Downdraft

I Generales:		
Capacidad de procesado		10-800 kg/h
Energía en el gas de salida	Caliente	0,11-12 GJ/h
	Frío	0,10-10 GJ/h
	Eléctrica	10-750 kWe equivalentes
Capacidad específica (en la garganta)		200-800 kg/m ² h
I Alimentación:		
Tamaño		20-80 mm
Humedad		0-30%
Cenizas		0-15%
Relación aire/biomasa		1,25/1,75 kg/kg
I Condiciones de operación:		
Presión		1-10 bar
Temperatura (máxima)		1.000-1.200 °C
I Salida:		
Temperatura salida gas		500-800 °C
Composición promedio (seco)	H ₂	16%
	CO	20%
	CO ₂	12%
	CH ₄	2%
	C ₂	<1%
	N ₂	50%
PCS		4,5-6 MJ/m ³
Producción de gas		2,0-2,2 Nm ³ /kg daf
Balance energético	Gas frío	75-89%
	Calor sensible	8-15%
	Alquitranes	1%
	Pérdidas	2-7%

en un gasificador de lecho móvil en corrientes paralelas, se obtienen unos rendimientos del 65-85%.

Como se ha mencionado, el gas puede ser aplicado directamente en calderas y si se eliminan las partículas sólidas y el alquitrán hasta niveles admisibles puede aprovecharse en turbinas, motores de combustión interna, etc. Los sistemas de tratamiento del gas pueden ser variados y dependen del nivel de limpieza requerido por el uso final del gas producto.

Etapas en el desarrollo de un gasificador

La utilización del gas condiciona el medio gasificante, y estos factores junto con las características de la biomasa determinan el tipo de gasificador y los accesorios.

Como ya se ha mencionado, se ha elegido un proceso de gasificación con aire en un reactor de lecho móvil de corrientes descendentes (o corrientes paralelas). Una vez elegido el gasificador, su desarrollo implica considerar los siguientes puntos:

- Dimensiones concretas del gasificador.
- Alimentación y distribución del medio gasificante y de la biomasa.
- El movimiento de la biomasa y los gases. Deben ser estacionarios, sin taponamientos ni zonas muertas.
- Retirada de cenizas, alquitranes, finos y compuestos tóxicos y/o peligrosos (si los hubiera) o el enfriamiento de las cenizas de bajo punto de fusión.
- Adecuación de los gases de salida.
- Elección de los materiales de construcción para prever el efecto de altas temperaturas, corrosión, abrasión, etc.
- Puesta en marcha. Debe ser fácil y permitir alcanzar el estado estacionario en un tiempo razonable.

El diseño del gasificador requiere un conocimiento profundo de los procesos envueltos en la gasificación. Para el caso concreto del gasificador considerado, lecho móvil Down-draft, se debe evitar el solapamiento de las zonas, ya mencionadas, y por ello es importante conocer los tiempos de residencia necesarios para obtener una determinada conversión, sobre todo en la zona de pirólisis. Esto se calcula a partir de modelos cinéticos, que apoyándose en datos disponibles indican la influencia de las variables más importantes.

Una vez diseñado el gasificador, la utilización de modelos de simulación permite ahondar en el conocimiento de la influencia de las condiciones de operación (cantidad de aire introducida, capacidad de procesamiento, temperaturas...), sobre la calidad y cantidad de los gases producidos. Este trabajo, tedioso y complicado, permitirá optimizar la instalación.

Evidentemente, junto a estos modelos es necesaria la construcción de gasificadores de distinta escala que permitan obtener resultados reales y comprobar la validez de los modelos.

Situación actual de la gasificación de biomasa en España

El interés por la gasificación surgió en España, al igual que en el resto de países, en los años 80. Ante la subida del precio del petróleo se inicia una búsqueda de nuevas

fuentes energéticas que evite la dependencia de los países exportadores de petróleo. Dentro de este ambiente, comienzan en España las primeras investigaciones sobre la gasificación de biomasa.

Los primeros trabajos y desarrollos tecnológicos, con vistas a lograr una rentabilidad de las instalaciones gracias a la reducción de costes y al aumento de la eficacia por el incremento de tamaño, se centraron en grandes instalaciones del orden de varios MWe. A partir de los estudios realizados sobre distribución y disponibilidad de la biomasa, esta idea de trabajar a gran escala ha cambiado hacia instalaciones de menor potencia y mayor versatilidad.

Esta demanda del mercado de instalaciones de pequeña capacidad implica que las tecnologías de gasificación a aplicar no pueden ser de una complicación excesiva, aunque esa complicación tenga como fin mejorar su eficacia, ya que esto supone un encarecimiento de los costes globales de la planta. Se considera que las pequeñas instalaciones de gasificación, hacia las que tiende el mercado, han de ser ante todo sencillas y robustas. La mejora en la eficacia debe buscarse, esencialmente, en aumentar el rendimiento a energía eléctrica en el sistema generador (motor).

Esta demanda es tanto o más válida para el escenario español, donde la biomasa no sólo se encuentra dispersa, sino en la que además su naturaleza es muy heterogénea.

Junto con lo ya mencionado, es preciso recalcar que la viabilidad económica de estas instalaciones está influida sobremanera por dos elementos claves:

- El coste de la biomasa puesta en planta.
- El precio de venta de la electricidad generada.

El coste de la biomasa va a depender de que sea producida en un cultivo con fines energéticos o de que se aproveche un residuo de actividades agroforestales o industriales. En cualquier caso, un factor importante es el coste del transporte, por lo que es de desear que las instalaciones de gasificación aprovechen la biomasa generada en las proximidades, haciendo que la inversión sea razonablemente atractiva. Si la biomasa que se evalúa gasificar es un residuo, hay que recordar además la ya clásica expresión “todo residuo tiene un valor cero, hasta que se le encuentra una utilidad”. El precio de la electricidad producida viene fijado por Real Decreto (RD 2818/98) y sus posteriores actualizaciones.

A pesar de lo dicho anteriormente y del interés que hace tiempo despierta la gasificación, en España apenas existen instalaciones de gasificación de biomasa a escala industrial en funcionamiento de las que se tengan noticias, si bien la confidencialidad

con la que se desarrollan estos proyectos lleva a pensar, como de hecho sucede, que en estos momentos existan instalaciones en desarrollo.

Dentro de los avances que se han producido en la gasificación de biomasa en España, se pueden distinguir, por un lado, las iniciativas empresariales, y por otro, una considerable actividad de investigación y desarrollo, tanto desde institutos o centros públicos de investigación como desde universidades.

Iniciativas empresariales

A continuación se citan las iniciativas empresariales de las que se tiene noticia.

La empresa Energía Natural de Mora tiene en operación una planta de gasificación de cáscara de almendra para producción de electricidad, situada en Mora de Ebro. Esta planta, basada en la tecnología de lecho fluidizado, se encuentra en funcionamiento desde 1997 con una potencia eléctrica instalada de 500 kWe. Más información puede obtenerse en <http://www.energiaverde.com>.

La empresa Gasbi, (Gasificación de Biomasa) S.L., desarrolló una planta de gasificación de biomasa, para una capacidad en torno a 100 kg/h basada en un gasificador de lecho móvil en corrientes paralelas tipo Downdraft. En esta instalación de demostración se han realizado pruebas con distintos tipos de biomasa y con un sistema de generación de electricidad mediante motor de combustión interna.

La empresa Abengoa realizó, durante los años 1997-98, diversos estudios técnicos y de viabilidad económica de gasificación de biomasa en reactores de lecho fluidizado y Downdraft a diversas escalas.

Actualmente, TAIM-TFG y el IDAE están desarrollando una planta integral con capacidad para producir 700 kWe a partir de residuos lignocelulósicos utilizando un gasificador tipo Downdraft. La planta está actualmente en funcionamiento. Más información puede obtenerse en <http://www.taim-tfg.com/>.

Dentro de este apartado, y en lo que se refiere a la gasificación en lecho fluidizado como proceso de aprovechamiento de residuos, cabe mencionar que la empresa Cadagua ha puesto recientemente en operación una planta de demostración para estudiar la viabilidad de la gasificación de biomasa y distintos residuos (lodos de depuradora, RDF, etc.).

Por otra parte, la empresa Environmental International Engineering S.L., en base a la tecnología desarrollada por la empresa canadiense Kemestrie, instaló en Ribesalbes (Castellón) una planta para gasificación de plásticos, aplicando su tecnología de gasificación desarrollada inicialmente para biomasa. La planta es conocida como

Poligas. Más información sobre la empresa y sus futuros proyectos se puede encontrar en su página web (www.eiegasif.com).

El Grupo Guascor inició, en colaboración con empresas americanas y canadienses, varios proyectos de gasificación de biomasa en Italia y en As Somozas (A Coruña, Galicia), con neumáticos. Más información puede obtenerse en www.guascor.com.

Desarrollo en centros de investigación

Los trabajos de investigación sobre gasificación de biomasa son más numerosos que las iniciativas empresariales. A continuación se citan por orden alfabético, los que se han mostrado más activos en los últimos años.

- CIEMAT. El Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas posee en la actualidad una planta de gasificación en lecho fluidizado circulante, con una capacidad de 80 kg/h. <http://www.ciemat.es>.
- CSIC, Instituto de Carboquímica (Zaragoza). Dentro del Departamento de Energía y Medioambiente se desarrollan diversos proyectos sobre la sustitución parcial de carbón por biomasa.
- Universidad de Alicante. Departamento de Ingeniería Química. En este departamento se están desarrollando investigaciones sobre combustión pirólisis y gasificación de materiales muy variados (celulosa, lignina, residuos agrícolas, urbanos e industriales y plásticos) en termobalanza, reactores de lecho fijo y fluidizado a escala de laboratorio.
- Universidad de Castilla-La Mancha junto con la ETS de Ingenieros Industriales, Departamento de Máquinas y Motores Térmicos de la Universidad de Valladolid y el Centro Tecnológico del CARTIF (Boecillo, Valladolid), están realizando proyectos para el aprovechamiento energético en un motor de combustión interna alternativo a partir de la gasificación térmica de residuos de biomasa lignocelulósica.
- Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Químicas, Departamento de Ingeniería Química. Dentro de este departamento destaca la investigación en temas de limpieza del gas producido en la gasificación mediante filtrado en caliente, transformación y mejora del gas producido en la gasificación de biomasa y gasificación catalítica de biomasa en lecho fluidizado.
- Universidad de Málaga, Departamento de Ingeniería Química. Este centro dispone de diversos equipos de laboratorio para la gasificación y pirólisis en lecho fijo y lecho fluidizado. Sus principales trabajos de investigación se centran en la gasificación y pirólisis de lignina Kraft.

- Universidad de Oviedo, Facultad de Química, Departamento de Ingeniería Química. Se ha realizado un proyecto acerca de la utilización industrial de residuos de madera vía gasificación de serrín.
- Universidad de Santiago, Departamento de Ingeniería Química, Grupo de Ecoeficiencia. Entre sus actividades se encuentra el aprovechamiento de materiales lignocelulósicos mediante pirólisis y gasificación. Colaboraron en la operación de la planta de producción de aceites de pirólisis de biomasa instalada por Unión Fenosa en Meirama (A Coruña). <http://web.usc.es/~eqbaolab/ecoefi.html>.
- Universidad de Sevilla. En esta universidad (Departamento de Ingeniería Química y Ambiental) se están llevando a cabo, bajo la dirección del prof. Ollero, proyectos de investigación sobre gasificación de biomasa y residuos en plantas piloto y de laboratorio.
- Universidad de Zaragoza, Departamento de Ingeniería Química y Tecnologías del Medio Ambiente (Grupo de Procesos Termoquímicos, <http://www.cps.unizar.es/~proter>)¹. Las investigaciones en este departamento se iniciaron a principios de los años 80. En 1988 se inició el primer proyecto de gasificación de biomasa a escala piloto en España, en el marco de un proyecto financiado conjuntamente por el IDAE, el CIEMAT y la Junta de Castilla y León. El Departamento de Ingeniería Química diseñó y operó un gasificador basada en un reactor tipo Downdraft con una capacidad de procesamiento de 200 kg/h. En la actualidad este departamento mantiene operativas varias instalaciones con una capacidad de gasificación de 100-250 kg/h. Actualmente investigadores del Departamento han participado en los proyectos desarrollados por las empresas Cadagua y TAIM-TFG.

Además del desarrollo de reactores Downdraft, las líneas de investigación relacionadas con la biomasa que están abiertas en este departamento comprenden el lecho fluidizado, en colaboración con la Universidad Complutense de Madrid², la gasificación de leñas negras (procedentes de SAICA) y la producción de hidrógeno a partir de biomasa vía gasificación catalítica.

Análisis de la situación actual

Aunque de modo muy breve, se han presentado las iniciativas llevadas a cabo y los trabajos desarrollados en distintas instituciones. En principio puede parecer sorprendente que, frente a tanto trabajo de investigación, las iniciativas empresariales sean escasas. Esto puede ser debido a distintas causas:

¹ Actualmente este Grupo de Investigación se enmarca en el Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón. Instituto Universitario de la Universidad de Zaragoza, <http://i3a.unizar.es/>.

² Estas investigaciones las dirige la Prof. Pilar Aznar del Grupo Recogas.

- En primer lugar las tecnologías desarrolladas para la gasificación de biomasa no son de aplicación universal, ya que cada aplicación se ha de adaptar al caso concreto de la biomasa a gasificar. Las modificaciones a aplicar dependen de la naturaleza de la biomasa. Por este motivo es menos atractiva que la combustión, tecnología más conocida y dominada, ya que una empresa busca rentabilizar lo más rápido posible la inversión hecha en investigación.
- El aprovechamiento más rentable actualmente de la biomasa por gasificación es la generación de electricidad. Esta transformación puede realizarse bien a través de su combustión en turbinas o bien en motores de combustión interna. Las turbinas de gas se han venido desarrollando para grandes potencias por lo cual, considerando que la tendencia es a pequeñas instalaciones y con un gas de bajo poder energético, no hay equipos adaptados a estos gases y bajas potencias. Asimismo estos equipos demandan especificaciones muy estrictas en lo que se refiere a la calidad y pureza del gas producto de la gasificación. Los motores de combustión interna sí están disponibles para bajas potencias, pero apenas existen experiencias que cuenten con 8.000-10.000 horas de funcionamiento en la utilización de éstos con gases de bajo poder calorífico. Es necesario que existan más datos de funcionamiento de estos motores con gas procedente de gasificación de biomasa, y que se avance en el desarrollo de estos motores, desarrollo que debe dirigirse a aumentar el rendimiento eléctrico conseguido. Esta situación provoca que los fabricantes de estos equipos establezcan elevados precios de mantenimiento, que, en el caso de motores de combustión interna, puede llegar hasta 0,018 € por kWe generado.
- Los centros de investigación dependen de subvenciones exteriores para realizar la investigación. Si no se reciben fondos de un modo más o menos continuo, es difícil que un grupo de investigación pueda profundizar, con continuidad, en los temas ya iniciados. Desafortunadamente, esto no siempre se ha podido cumplir, y el esfuerzo y experiencia acumulados no se aprovechan, convenientemente, por falta de financiación.

Finalmente, cabe indicar que en la actualidad la investigación se encamina esencialmente a mejorar la eficacia del proceso de gasificación, proveer al sistema de generación eléctrica de un gas producto lo más limpio posible para asegurar su buen funcionamiento y el aprovechamiento del gas mediante otras vías como la producción de hidrógeno y el uso en células de combustible. ||

CAPÍTULO III

Aplicaciones estacionarias: residuos, calefacción distrital y calderas para uso doméstico

**1. Distribución e implementación
de tecnología austriaca de biomasa
en España. Calderas domésticas de biomasa**

Autor: Miguel González de la Torre

Titulación: Ingeniero de Minas

Empresa: H.C. Ingeniería S.L./ KWB

**2. Red de calefacción centralizada alimentada
con biomasa en Cuéllar (Segovia)**

Autor: Eduardo Marcos Quevedo

Institución: Ayuntamiento de Cuéllar

Cargo: Concejal de Cultura, Turismo,
Patrimonio y Comercio

**3. La valoración energética de la fracción
combustible de los residuos**

Autor: Jesús Gil Díez

Titulación: Ingeniero Industrial

Empresa: URBASER S.A.

Cargo: Ingeniero de Proyectos

Distribución e implementación de tecnología austriaca de biomasa en España. Calderas domésticas de biomasa

MIGUEL GONZÁLEZ DE LA TORRE - H.C. INGENIERÍA

En España no existen actualmente tecnologías de alta cualificación en lo que a calderas de biomasa se refiere. Existen fabricantes españoles, pero sus tecnologías no se encuentran en un grado tan avanzado de desarrollo como en otros países europeos.

En una primera fase, España debería adoptar las tecnologías más avanzadas que existen actualmente en Europa como es el caso de Austria o de los países nórdicos (Finlandia, Suecia, Dinamarca), que cuentan con amplia experiencia en el terreno de la biomasa para usos térmicos. Esto es precisamente lo que lleva realizando nuestra empresa durante cinco años, desde 2003, con las calderas de biomasa de la empresa austriaca KWB con el fin de que, en el futuro, se puedan construir en España este tipo de calderas con ayuda del tecnólogo del país de origen.

Los principales objetivos del departamento de I+D de la empresa son los siguientes:

- Optimización del potencial existente.
- Crear nuevas soluciones para el futuro y mejorar las soluciones existentes.
- Ofrecer productos de alta tecnología.
- Optimización de la fabricación, combustión limpia y óptima generación de calor.

En países como Austria, con una población de 6 ó 7 millones de habitantes y una extensión similar a la de la comunidad autónoma de Cataluña, existen 28.000 ó 30.000 calderas de biomasa de pequeña potencia en viviendas unifamiliares, pequeños bloques de viviendas, pequeños hoteles, etc.

Dado que hace diez años Austria tenía el mismo nivel de desarrollo que el que tiene España actualmente, cabría esperar que en el transcurso de diez años en España se alcanzará el mismo nivel de desarrollo en el campo de la biomasa que el que existe en estos momentos en Austria o en países escandinavos. Como valor añadido, en España se dispone de gran potencial en lo que se refiere a población y disponibilidad de biomasa. Existe gran variedad de biomasa y ésta se encuentra, además, muy repartida.

Al contrario de lo que parece ser la opinión pública, la biomasa no es una energía propia de los países subdesarrollados sino que puede convertirse en una importante fuente de energía en el futuro.

Dado el precio elevado del petróleo y los problemas medioambientales derivados de su uso, es probable que combustibles como la leña se conviertan de nuevo en combustibles en uso. No obstante, esto no significa que volvamos a las estufas de leña y abandonemos las comodidades que nos proporcionan las modernas calderas de gas natural o el gasóleo.

Las nuevas calderas de biomasa son calderas completamente automatizadas y no requieren ningún tipo de atención por parte del usuario.

El sistema de control incorporado en cada una de las calderas es un sistema muy sencillo, como puede verse en la **[Figura 1]** que consta de una rueda giratoria para acceder a los distintos menús y dos botones de confirmación y salida del menú.

[Figura 1] Sistema de control de las calderas de biomasa KWB



Fuente: elaboración propia

Dispone de una pantalla gráfica totalmente innovadora y clara que permite a los usuarios, incluso con escasos conocimientos informáticos, programar con facilidad los horarios de calefacción y las temperaturas de consigna de calefacción y agua caliente.

El sistema de control puede vigilar individualmente hasta 34 circuitos de calefacción. Esto permite el uso de este tipo de calderas en comunidades de vecinos u hoteles con 30 habitaciones en las que cada huésped tenga sus propias necesidades

de calefacción y agua caliente. La temperatura de cada circuito se puede controlar de forma independiente sin depender de las necesidades del resto de los usuarios. Sin duda, esto es una gran ventaja.

El sistema de control es común a todos los modelos de calderas existentes.

Existen cuatro tipos de calderas de biomasa KWB:

- Calderas específicas de pelets (Easyfire), con potencias entre los 10 kW y los 30 kW.
- Calderas multicomcombustibles (Multifire), con potencias entre los 15 kW y los 100 kW.
- Calderas de leña (Classicfire), con potencias entre los 20 kW y los 50 kW.
- Caldera TDS Powerfire, con potencias entre los 120 kW y los 300 kW.

Se describirán cada uno de los cuatro tipos de calderas estudiando los siguientes componentes:

- Quemador.
- Sistema de limpieza.
- Sistema de seguridad.
- Sistemas de alimentación.

Se comenzará describiendo los modelos de potencia más pequeña.

Calderas específicas de pelets

La gama de calderas de potencias más pequeñas son calderas específicas de pelets. Admiten, por tanto, como único combustible el pelet. Es un tipo de caldera de reciente comercialización en España debido a que el mercado de este combustible no se encontraba, hasta el momento, demasiado asentado y desarrollado.

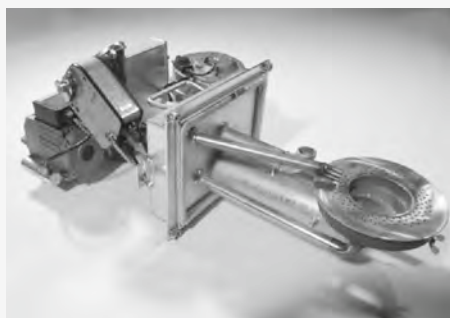
El rango de potencias va desde los 10-30 kW. (modelos USP) hasta los 15-100 kW (modelos USV).

Este tipo de calderas tienen la ventaja de que su combustible es más denso que otros, por ejemplo las astillas, y, por tanto, se necesita menos espacio para su almacenamiento y el tamaño de las calderas también se reduce. Es un tipo de caldera muy adecuado para viviendas unifamiliares.

Quemador

En las **[Figuras 2 y 3]**, se puede observar el quemador empleado en las calderas de pelets y un detalle del mismo.

[Figuras 2 y 3] Quemador y detalle del quemador de las calderas de pelets KWB



Fuente: elaboración propia

El diseño del quemador de pelets es de alimentación inferior con una placa circular y un anillo de combustión secundaria.

La biomasa se introduce en el quemador por el agujero central del disco donde se produce la combustión. El aire primario de combustión se introduce a través de los orificios que se encuentran alrededor. La zona de combustión primaria se mantiene en reposo debido a la baja velocidad del aire primario y al aporte controlado de combustible. Esto permite obtener unas condiciones óptimas de gasificación con niveles muy bajos de emisiones.

El aire necesario para el encendido de la biomasa entra en la cámara de combustión calentado previamente por una resistencia a 600°C a través del tubo que se observa en la [Figura 3]. El encendido de la biomasa no se realiza con llama o con combustible adicional. Se enfoca la biomasa con una inyección de aire caliente a 600°C y en pocos minutos se inicia la combustión. La resistencia se desconecta una vez que se ha producido la combustión y se aporta la cantidad necesaria de aire primario y secundario para mantenerla.

El aire primario se introduce en la cámara de combustión a través de los orificios del plato mientras que el aire secundario se introduce a través de los tubos que se encuentran alrededor.

Gracias a un tiempo de residencia suficiente y una alta turbulencia debido a la colocación especial de los inyectores de aire secundario, se consiguen unas condiciones perfectas para una gran eficiencia en el quemado y unos niveles bajos de emisión.

Sistema de limpieza

La limpieza del intercambiador de calor se realiza automáticamente una vez al día. Además de limpiar la superficie de los tubos, los muelles que se encuentran en el interior de los tubos **[Figura 4]** aumentan las turbulencias en el interior de los mismos lo que favorece la transmisión de calor en el intercambiador. De esta manera se garantiza una alta eficiencia energética.

[Figura 4] Detalle del intercambiador de calor y del sistema de limpieza de las calderas de pelets KWB



Fuente: elaboración propia

El sistema de limpieza en estas calderas consiste en un eje que gira con la ayuda de una leva y levanta el aro que puede observarse en la figura anterior. En un momento dado, el eje deja caer el aro provocando la vibración de los muelles en el interior de los tubos y la limpieza de la ceniza.

La serie de calderas USP está equipada con un sistema de compactación de cenizas totalmente automático. Sólo se requiere vaciar el contenedor cada 1 a 3 meses, en función del tamaño de la caldera y de las condiciones de operación. En la **[Figura 5]**, se muestra un detalle del compactador de cenizas.

Sistema de seguridad

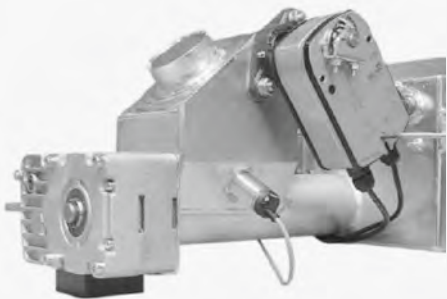
El sistema de seguridad consiste en un tubo hermético que previene cualquier infiltración de aire y en una compuerta de protección. Además, el canal inclinado de entrada de combustible está equipado con un nivel capacitivo para prevenir el exceso de llenado del tubo y el atascamiento **[Figura 6]**.

[Figura 5] Compactador de ceniza de las calderas de pelets KWB



Fuente: elaboración propia

[Figura 6] Sistema de seguridad de calderas de pelets KWB



Fuente: elaboración propia

El sistema de seguridad garantiza que, en caso de producirse combustión en el canal de alimentación, ésta no alcance el silo de almacenamiento. La caldera se encuentra equipada con una sonda que, en el momento en el que detecta que la temperatura en el canal de alimentación se eleva, manda una señal de alarma y se cierra una compuerta completamente estanca, similar a un cortafuegos.

La actuación de este sistema es completamente pasiva, es decir, es independiente de la existencia o no de suministro eléctrico. Asimismo, el sistema de seguridad incorporado

en estas calderas cuenta con un rociador que inunda el canal de alimentación para eliminar cualquier posibilidad de combustión en éste. Este rociador se alimenta de un recipiente que se encuentra en la caldera. Si este recipiente no se encuentra lleno, la caldera no arrancará bajo ninguna circunstancia.

La seguridad en estas calderas de biomasa se encuentra totalmente garantizada.

Sistemas de alimentación

Existen distintos tipos en función del tipo de caldera empleado. A continuación se muestran varios ejemplos.

- Sistema de alimentación con tornillo sinfín en ángulo (modelo KWB USP S 10-30 kW)
Este tipo de alimentación es el sistema automático más barato de extracción del combustible desde el silo. Es necesario planificar cuidadosamente su ubicación para cumplir los requerimientos de la instalación. Un ejemplo de alimentación por tornillo sinfín se muestra en la **|Figura 7|**.

|Figura 7| Sistema de alimentación con tornillo sinfín en ángulo



El silo se encontraría en la zona de la izquierda de la figura junto con un tabique de separación para contener la biomasa. La biomasa entraría a la caldera gracias al movimiento del tornillo sinfín y desde allí pasaría al quemador.

- Sistema de alimentación con agitador (modelo KWB USP R 10-30 kW). Este sistema de alimentación es adecuado para silos cuadrados. El sistema de alimentación es similar al sistema de tornillo sinfín. La única diferencia con respecto al anterior es que la biomasa, antes de caer sobre el tornillo sinfín, pasa por un plato giratorio con unas lamas de acero que, en su movimiento, remueven la biomasa evitando la formación de

bóvedas en el silo. En ocasiones, la extracción de biomasa de los silos con tornillo sinfín produce túneles o bóvedas que evitan que la biomasa siga cayendo y depositándose sobre el tornillo. Para evitar esto, se emplean los discos o platos giratorios.

Un ejemplo de este tipo de alimentación se muestra en la **[Figura 8]**.

[Figura 8] Sistema de alimentación con agitador



Fuente: elaboración propia

A la izquierda de la figura, se puede apreciar el plato giratorio situado al comienzo del tornillo sinfín.

- Sistema de alimentación con tornillo de extracción desde el silo mediante succión (modelo KWB USP GS 10-30 kW). Este sistema de extracción y transporte se utiliza si el silo y la sala de caldera se encuentran separados o si la biomasa se almacena en un tanque enterrado o en un tanque de tela flexible.

En la **[Figura 9]**, se muestra un ejemplo de este sistema de alimentación.

En el pivote situado a la izquierda de la imagen se acoplaría un tubo, similar a las mangueras de las depuradoras de las piscinas, y mediante un sistema de aspiración se podría transportar la biomasa desde lugares alejados 10 ó 15 metros de la sala de calderas.

- Sistema de alimentación con tanque de almacenamiento (modelo KWB USP V 10-30 kW). El sistema con tanque de almacenamiento puede ser un buen sistema en aquellos casos en los que se necesite economizar o para construcciones de aprovechamiento energético pasivo.
- Sistema de alimentación con tanque flexible para almacenamiento de biomasa. El tanque tiene una estructura soporte como puede observarse en la **[Figura 10]**. Está

|Figura 9| Sistema de alimentación con tornillo sinfín de extracción mediante succión



|Figura 10| Sistema de alimentación por tanque de almacenamiento flexible



realizado con material antiestático con refuerzos metálicos. Tiene incorporada una boquilla de llenado.

Desde el depósito se puede alimentar la caldera de biomasa, bien por aspiración o bien por cualquiera de los métodos anteriores que emplean tornillo sinfín.

Calderas multicomcombustibles

Además de las calderas de pelets que acabamos de describir, existe otra gama de calderas más versátiles. Son calderas multicomcombustibles que pueden alimentarse con astillas, además de pelets. La gama de calderas USV abarca potencias desde 15 kW hasta 100 kW.

El concepto de caldera y los sistemas de alimentación son similares a los que se han explicado anteriormente.

Quemador

El quemador es similar al quemador de las calderas de pelets. El sistema de alimentación de biomasa es inferior. Esto, junto con el sensor de combustible y el sistema de conducción del aire, garantiza una combustión óptima con una producción mínima de sustancias tóxicas.

La biomasa se introduce por el centro del quemador. El aire primario se introduce en la cámara de combustión a través de los orificios situados en el disco y el aire secundario sale por los tubos situados alrededor.

El encendido de la caldera se produce de forma completamente automática mediante inyección de aire caliente.

Este tipo de calderas son calderas pirotubulares, es decir, los gases de escape circulan por el interior de tubos en su proceso de intercambio de calor con el agua del circuito primario que circula por el exterior de estos tubos. Los tubos tienen disposición vertical, para evitar la acumulación de cenizas. En el interior de los tubos, hay dos ejes que, una vez al día y de forma automática, giran para eliminar los posibles restos de ceniza depositados en su interior. Este sistema automático de limpieza contribuye a mejorar la eficiencia energética en el intercambiador de calor. Las aletas horizontales y con forma de hélice aumentan las turbulencias en el interior de los tubos consiguiendo una transferencia de calor óptima entre los gases de escape y el agua del circuito primario.

La combustión se encuentra permanentemente controlada por una sonda lambda que tiene como funciones:

- Análisis permanente de los gases de combustión.
- Control perfecto de la combustión.
- Valor mínimo de emisiones.

El resultado obtenido es un elevado y constante rendimiento que garantiza un notable ahorro para el cliente.

Sistema de limpieza

Dos tornillos sinfín extraen la ceniza de manera automática y la compactan en un depósito externo. La ceniza se almacena en el depósito que debe vaciarse con una frecuencia de entre 2 y 6 semanas. En algunos casos puede llegar a una temporada completa de calefacción.

Sistema de seguridad

El sistema de seguridad consta de los siguientes elementos:

- Sensor de reconocimiento que detecta un aumento de temperatura en el canal de alimentación debido a un posible incendio del combustible.
- Compuerta estanca que evita la propagación de incendios al silo de almacenamiento y actúa siempre, incluso con fallo eléctrico (seguridad pasiva).
- Rociador de agua en el canal de alimentación.

Las calderas disponen de una efectividad alta contra incendios y la seguridad se encuentra totalmente garantizada.

Sistemas de alimentación

- Sistema de alimentación con tornillo sinfín y agitador. El sistema de alimentación es similar al empleado para las calderas de pelets. El sistema consta de un tornillo sinfín para la alimentación de la caldera y un plato giratorio que impide la formación de bóvedas en el almacenamiento de biomasa.
- Sistema de alimentación con tanque intermedio. El tanque de almacenamiento intermedio permite que el sistema de alimentación no se encuentre constantemente arrancando. De esta forma, evitamos las puntas de consumo de los motores que se producen en los arranques. Se llena un depósito de 200 litros que proporciona una autonomía de ocho horas aproximadamente y se optimiza el funcionamiento de la caldera.
- Sistema de alimentación con tanque de almacenamiento de 1.000 litros. Es el sistema de alimentación más económico. El depósito con una capacidad de 1.000 litros se llena manualmente. La autonomía que proporciona el tanque de almacenamiento es de aproximadamente dos o tres semanas en las épocas frías de invierno y varios meses en primavera y verano.

Las calderas multicomcombustible requieren normalmente para su implantación un suelo inclinado. Existen, no obstante, varias soluciones de implantación que repasamos a continuación:

- Sistema de alimentación desde silo. La implantación de las calderas multicomcombustibles requiere normalmente un suelo inclinado. Si el suelo es horizontal, se puede construir una tarima o rampa inclinada a ras del tornillo sinfín para que la biomasa se deposite sobre él. La tarima se puede realizar en madera o directamente en obra. Lo más conveniente es que la biomasa se pueda cargar basculando desde la parte superior del silo. En el caso de la biomasa, a diferencia del gas natural o el gasóleo, los sótanos son lugares muy adecuados como silos de almacenamiento.
- Sistema de alimentación desde silo con tornillo sinfín de llenado. En los casos en los que el silo se encuentra en un sótano pero no es posible su carga, se puede

emplear un tornillo sinfín que se encargue de realizar la carga o llenado del silo con la biomasa.

- Sistema de alimentación desde un silo de combustible situado por encima del nivel de la caldera. La biomasa se puede encontrar en una cota superior al nivel de la caldera. La alimentación de la caldera desde el silo se realizaría de forma similar a los casos anteriores. Se emplearía un agitador y un tornillo sinfín que se encargaría de transportar la biomasa.

Calderas de leña

Este tipo de caldera es lo más cercano al concepto clásico de caldera de leña o chimenea. El rango de potencias abarca desde los 20 kW hasta los 50 kW.

La alimentación de las calderas de leña no se realiza con biomasa a granel como en los modelos anteriores sino con troncos de leña.

La combustión se encuentra permanentemente controlada por una sonda lambda que tiene como funciones:

- Análisis permanente de los gases de combustión.
- Control perfecto de la combustión.
- Valor mínimo de emisiones.

Quemador y cámara de combustión

La cámara de combustión está diseñada para que en su interior se produzca una combustión óptima con un valor mínimo de emisiones, un contenido mínimo de cenizas y un ahorro de combustible.

Sistema de limpieza

Al igual que en todos los modelos anteriores, este tipo de calderas se caracteriza por un sistema de limpieza de tubos del intercambiador de calor que le confieren una eficiencia óptima y constante.

Sistema de seguridad

Los gases de combustión no pueden escaparse debido a un sistema especial de succión.

Sistema de alimentación

Disponen de un amplio espacio de carga de combustible con volúmenes de 140 a 210 litros de capacidad que aseguran hasta 20 horas de combustión.

El espacio destinado a la carga de combustible está diseñado para albergar troncos de hasta 56 cm y astillas gruesas.

Caldera TDS Powerfire

La caldera TDS Powerfire se encuentra disponible en potencias de 120 kW y 300 kW. Admite biomasa con humedad de hasta el 50% y permite quemar varios combustibles sin necesidad de cambiar la programación de la caldera.

El modelo TDS dispone de un sistema de análisis continuo de gases de escape, de tal forma que modifica automáticamente la entrada de aire de combustión en función del combustible quemado y del análisis de los gases de escape. La caldera es completamente automática y es capaz de controlar combustibles con distintos grados de humedad y poderes caloríficos.

Tiene un nivel de emisiones extremadamente bajo debido a que dispone de:

- Parrilla con plato giratorio y encendido automático.
- Cámara de combustión secundaria con ciclón.

Se trata de un modelo de caldera muy eficiente gracias a:

- Limpieza automática del intercambiador de calor.
- Aislamiento total y precalentamiento del aire.

La combustión se encuentra permanentemente controlada por una sonda lambda que tiene como funciones:

- Análisis permanente de los gases de combustión.
- Control perfecto de la combustión.
- Valor mínimo de emisiones.

A nivel de costes, la biomasa es una tecnología con costes iniciales de inversión superiores a los costes iniciales de otras tecnologías como el gas natural, gasóleo o gas propano.

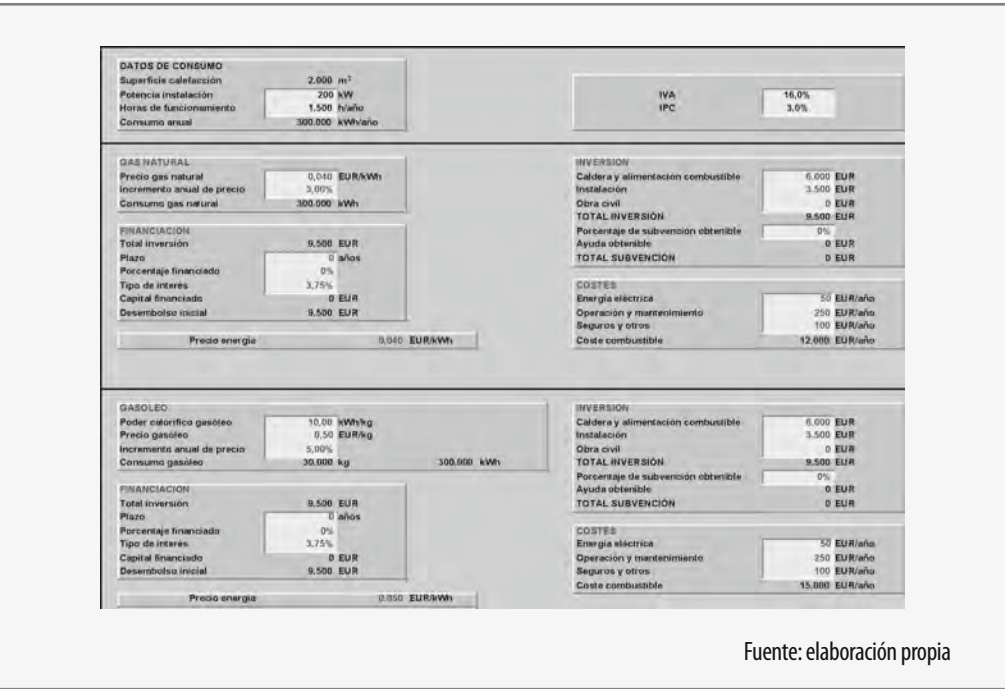
A continuación, se muestra una comparativa real de costes para una residencia de ancianos construida en Jaén.

La residencia cuenta con 32 habitaciones, zonas comunes, cocina y lavandería. El agua caliente sanitaria (ACS) se obtiene a través de energía solar térmica con apoyo de caldera de biomasa. Se instalaron dos calderas de biomasa alimentadas con hueso

de aceituna (modelo USV 100 ZI KWB) para proporcionar calefacción a la residencia a través de radiadores y fancoils.

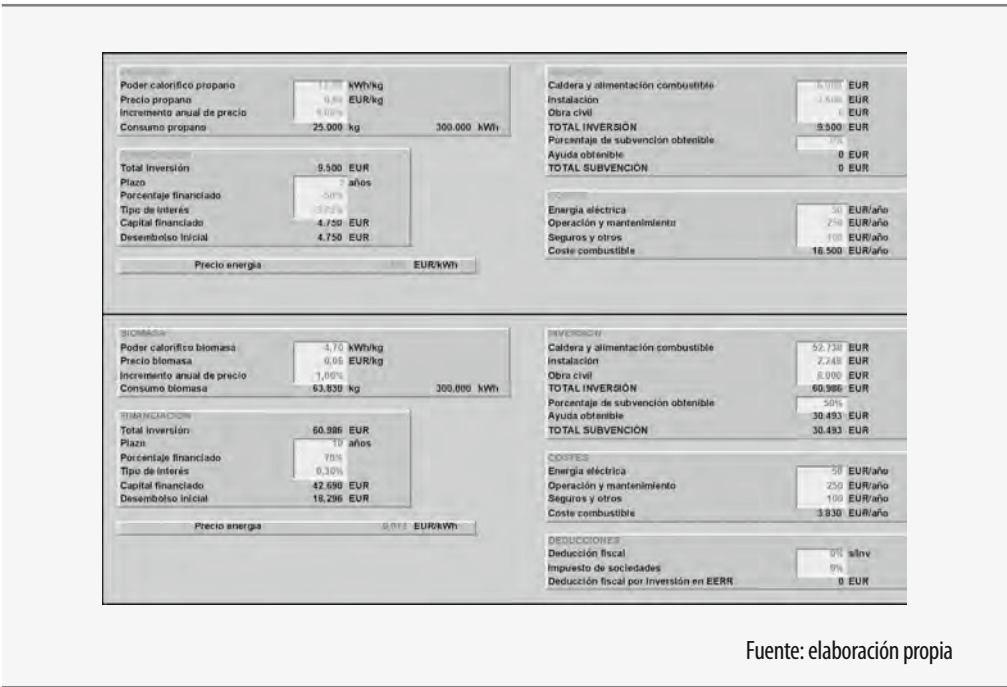
En las **[Figura 11 y 12]**, se muestran los costes de inversión para las cuatro tecnologías mencionadas (gas natural, gasóleo, gas propano y biomasa). Hay que destacar que los costes iniciales de inversión de la biomasa son muy superiores a los del resto de tecnologías. Esto, sin duda, es un inconveniente. No obstante, hoy en día existen ayudas, tanto de financiación como a fondo perdido, que permiten que el desembolso por la inversión inicial se aproxime al coste de una instalación con gas natural o gasóleo.

[Figura 11] Costes de inversión según fuentes



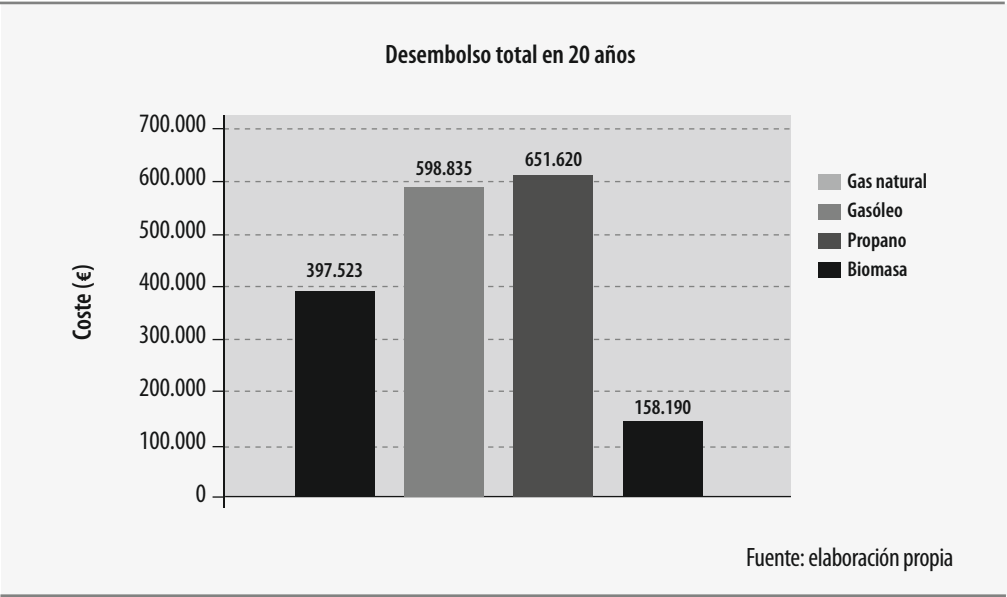
Si en lugar de comparar inversiones iniciales, se comparan los costes acumulados durante 20 años **[Figura 13]**, llegaríamos a la conclusión de que, a pesar del mayor coste inicial, el uso de biomasa supone un ahorro de al menos el 50% con respecto a la siguiente tecnología más económica que es el gas natural. Esto es así, principalmente, debido a que el coste de la biomasa como combustible es mucho menor que el coste de los combustibles procedentes de derivados del petróleo. **[■]**

[Figura 12] Costes de inversión según fuentes (bis)



Fuente: elaboración propia

[Figura 13] Comparativa de costes acumulados en 20 años por tecnologías



Fuente: elaboración propia

Red de calefacción centralizada alimentada con biomasa en Cuéllar (Segovia)¹

EDUARDO MARCOS QUEVEDO - AYUNTAMIENTO DE CUÉLLAR

Esta calefacción de distrito se desarrolló en Cuéllar. Los motivos fundamentales por los que se ha desarrollado allí son que se encuentra en una zona geográfica que facilita mucho el hecho de implantar este district-heating, sistema de calefacción centralizado, alimentado sobre todo con residuos forestales. Están localizados a 150 kilómetros de Madrid, a 50 de Valladolid y 60 de Segovia **[Figura 1]**. Son conocidos como la “isla mudéjar en un mar de pinares”, porque es un municipio pequeño, pero con un rico patrimonio mudéjar y un rico patrimonio natural, y eso ha favorecido una forma de vida y una cultura dentro de la comarca.

[Figura 1] Mapa de situación de Cuéllar



¹ District-heating.

Cuéllar es cabecera de comarca de unos 36 pueblos aproximadamente. Cuenta con 30.000 habitantes aproximadamente entre todos. Cuéllar municipio tiene sólo 9.600 y cuenta con un recinto amurallado, y un conjunto histórico de 63 hectáreas. Es decir, es un municipio en el que prácticamente todas las viviendas eran casas o casonas grandes, y que, a partir de los años setenta, se empezó a edificar en bloque, en cuatro alturas, aunque sin comparación con lo que se construye en las grandes capitales.

Tienen una masa forestal, monte de utilidad pública, de unas 16.000 hectáreas aproximadamente, pero hay muchas más de monte privado, centrándose únicamente en lo público.

El municipio consta de un castillo y sus iglesias mudéjares, y cuenta con lo que los lugareños llaman “el mar de pinos”, de toda la extensión que les rodea. El municipio comenzó a crecer fuera del casco histórico en los años setenta. Esta iniciativa se sitúa en la zona sur del municipio por varias cuestiones. En primer lugar, porque los edificios ya existentes tenían un sistema de calefacción centralizado, gasóleo en su mayoría, e iba a ser mucho más sencillo implementar este nuevo sistema, ya que se trataba únicamente de incorporar otro sistema diferente. Este proyecto nace como iniciativa del IDAE, que quiere desarrollar proyectos para fomentar el uso de energías renovables, y busca zonas potenciales donde se puedan poner en marcha estas iniciativas, buscando también ayuntamientos que se quisieran involucrar en ello.

Los motivos por los que se ha instalado en Cuéllar este proyecto se basan, fundamentalmente, en su situación geográfica. Tienen masa forestal suficiente para desarrollar un proyecto de estas características, que sea sostenible en el tiempo. Asimismo, el ayuntamiento ha mostrado un alto grado de participación.

Los objetivos del proyecto eran varios. Se quería implantar un sistema de calefacción y agua caliente sanitaria centralizado, buscando un sistema eficiente energéticamente y con un alto valor ecológico. Querían utilizar y valorizar los residuos forestales que hasta el momento se abandonaban, quedando como manto vegetal en el monte. Cabe decir que hasta 1997 no se había pensado en su utilización a nivel estatal, en España. En otros países, como Austria, este tipo de residuos se lleva utilizando desde hace muchos años. También se pretendía sustituir un combustible como el gasóleo: de importación, que se tiene que comprar a otros países, y perecedero, e introducir un combustible como la biomasa: renovable y autóctono en nuestro caso, es decir, lo tienen en su zona, se va a producir cada año, lo que va a garantizar la sostenibilidad de este proyecto.

En la situación de partida están situados en la zona sur del municipio. Los motivos son, primeramente, que los propios edificios ya tenían sistema centralizado. Querían probar también con viviendas unifamiliares, y, sobre todo, los edificios públicos con los que se iba a probar este proyecto también estaban allí: el pabellón polideportivo, un centro cultural y un colegio público.

Hubo un factor muy importante dentro de esta iniciativa: la comunicación a los vecinos de Cuéllar. Hay que tener en cuenta que cualquier persona que esté en su casa tiene un sistema de calefacción, y, normalmente, no se preocupa de lo que tiene; simplemente le interesa que tenga calor en su vivienda, independientemente de lo que haya que hacer para obtener ese calor. A los vecinos se les informó del proyecto. Hasta ahora, en España no había ninguna iniciativa, y, por tanto, no se disponía de ningún ejemplo con el que poder ilustrarlo. No se podía contratar un autobús para los vecinos de las comunidades en las que se pretendía implantar e ir a ver una instalación. Ahora, afortunadamente, hay más posibilidades. Se ofreció información, sobre todo, de IDAE, EREN, de la Universidad de Valladolid y del propio ayuntamiento. Hubo que llevar a cabo una tarea de convencimiento a estos vecinos. El ayuntamiento apoyaba y creía en el proyecto, e informó a los vecinos de que iban a sustituirse las calderas del pabellón, del colegio y de los edificios públicos, pero el proyecto necesitaba que se incorporasen bloques de viviendas, hasta un total de 225, que son los que están en la actualidad.

Esto tuvo un largo proceso de implementación: IDAE y EREN presentan la idea al ayuntamiento, se redacta un proyecto básico y se adjudica una unión temporal de empresas, la que ejecuta la obra. Se obtiene una subvención de 36 millones de pesetas aproximadamente, que fue directamente destinada a los equipos que se implantaron en los edificios privados y públicos. Es decir, los vecinos no tuvieron que pagar nada por unirse al proyecto, sólo tenían que ofrecer su voluntad y compromiso de consumir este nuevo tipo de energía. La financiación fue de 200 millones de pesetas aproximadamente. La parte de la no subvención fue lo que se financió entre IDAE y EREN, que adelantaron el dinero al ayuntamiento para pagar la instalación, con el compromiso de devolver la financiación en veinte años. Afortunadamente, en la actualidad hay fórmulas mucho mejores que éstas, y todo es mucho más fácil, pero el ayuntamiento de Cuéllar tuvo que enfrentar todos los problemas que implica ser un proyecto piloto o una idea nueva que no existía en 1997 en España.

En el proceso de implementación el ayuntamiento aporta el terreno urbanizado, información y convencimiento a los futuros receptores: los vecinos. En 1998 comienzan las obras. Siempre se ha contado con el apoyo técnico tanto de IDAE como de EREN y de la Universidad de Valladolid. En 1999, comienza a funcionar y las ventajas que se consideran que tiene este sistema de district-heating implantado en Cuéllar son las siguientes.

Las ventajas medioambientales son evidentes. Se está sustituyendo la combustión de 750.000 litros de gasóleo al año por combustión de biomasa, lo que permite tratar adecuadamente las emisiones a la atmósfera. Han eliminado ambientalmente 33 chimeneas que estaban emitiendo gases por combustión de gasóleo, y se está favoreciendo la limpieza de los montes, con lo que ello conlleva en la propagación de plagas y de incendios.

A la hora de implementar el proyecto con los vecinos, no sólo se ha sustituido su equipo por uno nuevo, sino que se han eliminado todos los gastos de mantenimiento que ellos tenían. Ahora mismo no se tienen que preocupar de su caldera, porque no la tienen; tampoco tienen que preocuparse de limpiar chimeneas, porque no las tienen; y las averías del sistema son absolutamente mínimas: se ha sustituido todo su equipo de caldera por un intercambiador de placas y un depósito de agua caliente.

También, a las comunidades de propietarios, sobre su factura anual, se les hizo una reducción de un 10% sobre su consumo histórico. Es decir, a una comunidad que consumiera 100.000 litros de gasóleo al año, el ayuntamiento le está facturando ahora 90.000.

En lo que respecta a las ventajas sociales de este proyecto, se puede decir que hay varias. Por una parte, el aprovisionamiento de biomasa y los trabajos de trituración, manipulación y obtención han generado puestos de trabajo. Y esto es muy importante en un entorno rural, en el que la generación de empleo para fijar población es una de las luchas de cualquier municipio de la Comunidad Autónoma de Castilla y León.

El mismo uso de este tipo de energía por parte de mil usuarios de la zona sur también ha generado que haya una mayor cohesión en la zona. También se ha formado una mentalidad medioambiental. Es decir, no sólo se ha hecho esta pequeña iniciativa, sino que desde 2002, se ha abierto una oficina municipal de energías renovables, no para informar de la biomasa, que ya la conocen todos los niños de los colegios e institutos de Cuéllar y prácticamente de toda la provincia de Segovia, porque se hacen visitas enseñando qué es lo que se está haciendo aquí, qué es lo que se hace con los residuos de los montes, de los pinares y para qué está sirviendo y va a servir en un futuro. No, también se ha generado una mentalidad medioambiental. En Cuéllar se está empezando ya a tener una iniciativa privada importante para, sobre todo, el uso de energía solar. También, la implantación e introducción de una piscina climatizada recientemente en 2004, con biomasa y energía solar, supone otra iniciativa y otro impulso más que da el ayuntamiento para fomentar las energías renovables.

La biomasa forestal para el municipio de Cuéllar tiene mucho más valor que hablar de biomasa simplemente. En primer lugar, porque está o forma parte del proceso de sostenibilidad de los montes, y en segundo lugar, porque se tiene que analizar lo que cuesta la obtención, manipulación y el precio de la misma. Asimismo, se tiene distintos tipos de biomasa; utilizan corteza de pino, cáscara, corazón, residuos forestales, astillas, e, incluso, a veces, maíz, soja, pipa, etc. Para el tipo de caldera utilizada, el mejor combustible es una mezcla de todos ellos. Al final, se consigue tener un combustible homogéneo y heterogéneo al mismo tiempo, que es el mejor para esa caldera. Ahora mismo, evidentemente, con los avances, la tecnología se puede adaptar mucho más a un tipo de biomasa específico.

En cuanto al concepto de sostenibilidad del proyecto, este proyecto va a estar garantizado de por vida por la ordenación que se muestra a continuación.

Ordenación: 4 fases con una periodicidad de 30 años.

- 1ª fase: De 0 a 30 años (repoblaciones y entresaca).
- 2ª fase: De 30 a 60 años (formación del pino).
- 3ª fase: De 60 a 90 años (resinación).
- 4ª fase: De 90 a 120 años (talado).

Como se ve, se produce una periodicidad y una regeneración natural del monte que va a hacer y va a garantizar que cada año se obtenga biomasa, siempre de una forma controlada, estudiada; y son los ingenieros de montes de la comunidad autónoma los que clasifican y dicen en qué parte del monte se tiene que actuar.

El coste de la biomasa es la manipulación, trituración y el transporte. En lo referente a manipulación, en el monte hay una densidad muy alta, y normalmente se hacen trabajos de entresaca para dejar una densidad adecuada y que el crecimiento del monte sea el mejor natural. Después se tritura con una máquina y después se mezcla con corteza u otro tipo de astilla.

El combustible necesario consumido es de unas 3.000 toneladas al año. De esas 3.000 toneladas, alrededor del 20% lo obtenemos de forma directa del monte, es decir, con trabajadores, y el 80% restante se obtiene fundamentalmente de dos suministradores: un aserradero (Aserraderos de Cuéllar), que fabrica fundamentalmente tablas para embalaje, y otra empresa que fabrica palets para embalajes.

Se tienen dos calderas: una de 4,5 millones de kilocalorías, y la otra de 600.000. Una es para la época de invierno, calefacción y agua caliente sanitaria, y la pequeña únicamente para agua caliente sanitaria. Es mucho más exquisita la caldera pequeña, que no acepta esta mezcla de combustibles sino que funciona mejor con el corazón de piña o la cáscara de piña, y este tipo de combustibles es, económicamente, más caro.

Como combustible, la biomasa es una energía renovable, y en el caso de Cuéllar autóctona, a la que tiene acceso en un radio de 15 kilómetros. Medioambientalmente, no contamina, o se podría hablar de una contaminación neutra. Socialmente genera empleo local y ha generado mentalidad medioambiental en el municipio. Y desde el punto de vista del mantenimiento del monte, evita lo que se ha comentado antes.

Los usuarios actuales que están conectados a esta red de calefacción, a este district-heating, son los siguientes: como instalaciones municipales, tienen un pabellón polideportivo, con una capacidad para unas 1.500 personas; un centro cultural con 12

salas; la piscina climatizada, también con energía solar; y el colegio público en el que hay unos 600 alumnos. En lo que se refiere a viviendas individuales, hay 25 unifamiliares, y 5 bloques de viviendas colectivas. En total: 225.

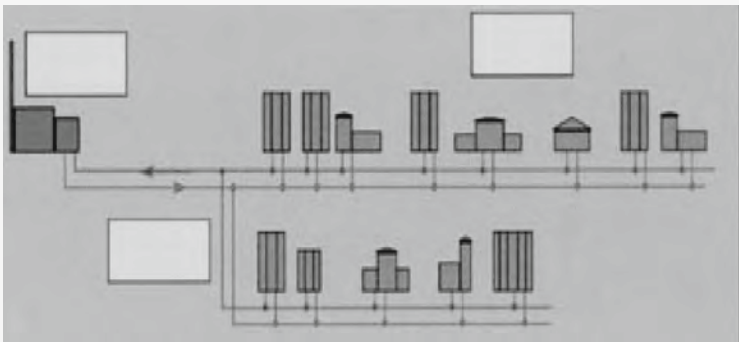
Se está utilizando este tipo de energía y, aproximadamente, se está cubriendo un 10% de las necesidades energéticas del municipio. Se está intentando alcanzar los objetivos que se han marcado en mucho foros, pero es una tarea difícil.

En cuanto al proyecto de la central de calefacción, tienen dos calderas: una de 4,5 millones y otra de 600.000 kcal; un silo de almacenamiento; un sistema de abastecimiento con una cinta elevadora, que introduce dentro el combustible, que por caída libre cae a la tolva de abastecimiento. Las calderas son de parrillas móviles, y el hogar es de una forma escalonada. La caldera es un sistema acuotubular, con mucha superficie de contacto, y calentamos el agua aproximadamente a unos 90°C. La distribuimos por una red de 1,5 kilómetros de ida y 1,5 vuelta, y cuando el rendimiento o las necesidades energéticas son máximas, normalmente la diferencia de temperatura es de unos 20°C. Es decir, se saca el agua a 90°C y retorna a 70°C. Tienen que cubrir ese incremento de temperatura.

La red de distribución consta de una tubería danesa de 200 mm; doble tubería preaislada de acero al carbono, y se estima que la pérdida energética es de un grado cuando la temperatura exterior es de -5°C; por lo que habría muy pocas pérdidas energéticas.

En la **[Figura 2]**, se tiene un detalle general de la central, de la red de tuberías y un sistema de conexión en paralelo muy simple. El intercambiador de placas para las viviendas pequeñas es como una caja de zapatos, y lo que más ocupa es el depósito de agua caliente sanitaria.

[Figura 2] Esquema de detalle general de la central



Fuente: elaboración propia

Lo que queda después del proceso son cenizas y la arena del propio pinar. Gran parte se está utilizando para jardines municipales, porque es muy rica en potasio.

El proyecto ha obtenido bastantes reconocimientos y una buena difusión, tanto en prensa como en televisión; ha sido calificado como “GOOD” por el Comité Habitat de buenas prácticas de la ONU. ||

La valoración energética de la fracción combustible de los residuos

JESÚS GIL DÍEZ - URBASER

Se debe tener en cuenta que los residuos sólidos urbanos se producen a diario y hay que darles una solución que permita su máximo aprovechamiento.

El complejo medioambiental de Valdemingómez, que trata los residuos de la Comunidad de Madrid tiene tres plantas: la planta de La Paloma, la planta de Las Dehesas, y el centro de tratamiento integral de residuos de Las Lomas, que es el que se estudia en este momento.

Existen tres tipos de tratamientos para los residuos municipales: tratamiento de recuperación de materiales, tratamiento de conversión biológica de la fracción orgánica de esos combustibles y tratamiento de conversión térmica de la parte que no se puede aprovechar.

Para el tratamiento de recuperación se tiene el proceso de reciclado, en el que se recuperan los materiales comerciales que existen en esos residuos. Dentro de la conversión biológica se pueden dar tres tipos de tratamientos: uno en el cual no se aprovecharía nada, que sería el arrojado a un vertedero, en el que no se produce nada y lo único que queda es un gas de vertedero que contamina la atmósfera; otro en el que se puede hacer una digestión anaerobia de ese residuo, con el cual se obtendría un biogás y un humus, que podría ser aprovechable para el tratamiento de suelos. Y por último, una conversión aerobia, tipo de compostaje, en la que se obtiene un elemento compost que puede servir como fertilizante de las tierras de labranza. Con ese resto que no se puede aprovechar, lo más conveniente sería realizar un tratamiento de conversión térmica. Esa conversión técnica puede ser de tres tipos: una combustión en la que se emplea aire en exceso y que nos puede producir, para su aprovechamiento, electricidad o vapor; fundamentalmente en España al no tener district-heating normalmente en las ciudades en las que están las grandes instalaciones, se produce electricidad, cenizas, que evidentemente irían a un vertedero, y las escorias. Otro tipo de conversión química puede ser la gasificación en la que se obtendría un gas de síntesis y un residuo sólido. Y por último, otra forma de

tratamiento podría ser la pirólisis con un gas sintético y unos líquidos y un carbón como producción.

En el centro de tratamiento integral de residuos, se intenta que los tres tipos de tratamiento se aprovechen y que el residuo sea el mínimo, es decir, que esa planta integral cuente con una recuperación vía reciclado, que se produce en la planta, una conversión biológica en la que se ha empleado la tecnología de compostaje y una conversión térmica para la que se ha elegido la tecnología de combustión. Es decir, con este tipo de planta, se aprovechan al máximo los tres tratamientos, así como los recursos de esos residuos sólidos urbanos.

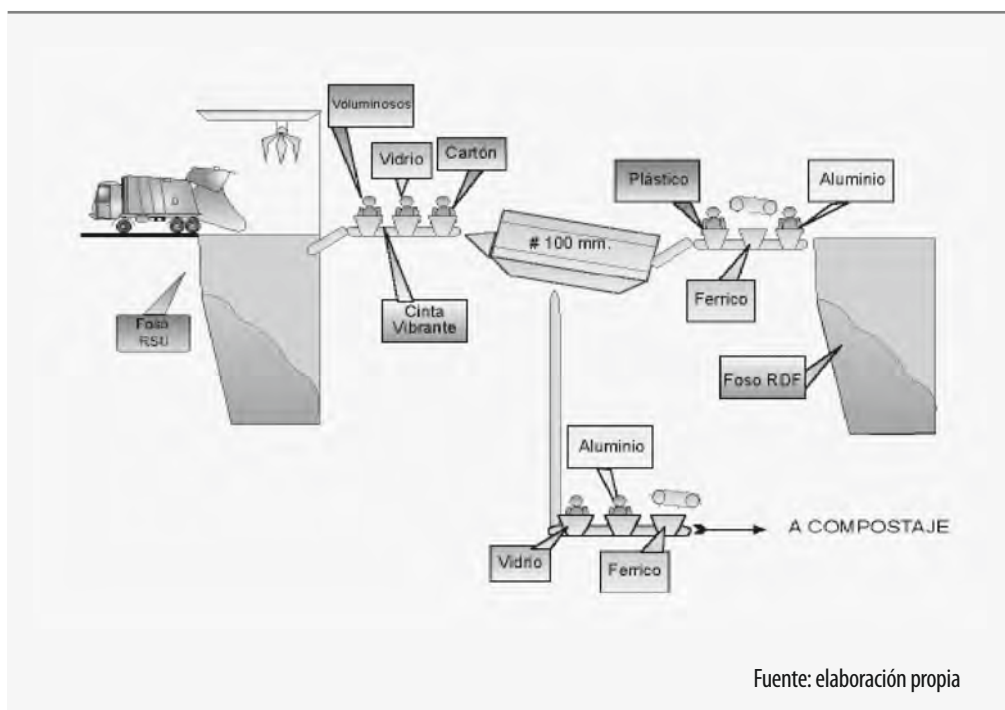
Un centro de tratamiento integral constará de unas instalaciones generales comunes a todas las plantas industriales, una planta de recuperación y reciclaje, una de compostaje y afino de ese compost para poder venderlo y la planta de valorización energética.

Como datos generales de la planta, se han tratado 445.812 toneladas de residuos en el año 2005, que son aproximadamente la tercera parte de los residuos sólidos urbanos que se producen en Madrid; se han recuperado materiales magnéticos, aluminio, plástico, cartón y se han producido cuarenta mil toneladas de compost. Además se han producido 215 millones de megavatios/hora de electricidad, de los que se han vendido 163.000 aproximadamente. El consumo de la planta ha sido el total de todas las instalaciones, tanto de reciclaje como de compostaje. Por supuesto el consumo para eficiencia de la planta sólo energética sería mayor.

En las instalaciones generales las básculas de entrada son de, aproximadamente, doce metros y sesenta toneladas, edificio de administración, talleres, almacenes.

La planta de recuperación y reciclaje tiene una capacidad de diseño de 1.200 toneladas al día, consta de cuatro unidades de proceso de unas treinta toneladas por hora, y normalmente, en esta planta de reciclaje se trabaja a dos turnos, seis días a la semana. Son aproximadamente veinticinco trabajadores por turno de reciclaje, siendo un total de ciento veinte operarios.

En la planta de reciclaje [**Figura 1**], los camiones llegan, descargan en un foso de residuos con unas grúas con pulpo; vía unos alimentadores van a unas cribas vibrantes donde se produce el primer reciclaje de los voluminosos y del cartón. Inmediatamente va a una criba rotatoria de separación, fundamentalmente, por tamaño, en la cual se separa la parte de rechazo, es decir la que no pasa por los agujeros; es normalmente la parte no orgánica y la parte que pasa por el agujero es la parte orgánica. La parte no orgánica va a unas cintas de reciclaje en las que, manualmente, se recuperan todos los plásticos y aluminio y, automáticamente, se recupera todo el material férreo por unos separadores magnéticos. Lo que no se recupera va al foso de residuos, en el cual se almacena el combustible que va a servir para la planta de

[Figura 1] Croquis del trabajo en planta

valorización energética. La planta tiene dieciocho puertas de descarga de camiones, dos fosos de recepción de 6.700 metros cúbicos de capacidad, dos grúas de carga de doce toneladas y dos pulpos tipo semiconcha accionados por motor hidráulico para la descarga de los alimentadores.

En el interior de la criba giratoria, los agujeros separan la parte orgánica y la inorgánica, que será, esta última, el combustible que alimente a la planta de valorización energética.

La recuperación de reciclaje tiene unas cintas de recuperación manual de plásticos y aluminio, separadores magnéticos, tres molinos para reducir el tamaño de los plásticos, una prensa, dos prensas de cartón y una turba de almacenamiento de plásticos, como datos más importantes.

Los trómeles de tamaño enorme están junto a los primeros puestos de reciclaje, donde trabajan las personas que están reciclando y parte de ese residuo rechazable en el trómel.

Es después del reciclaje, tanto manual como magnético, cuando el residuo va a las fosas y grúas de alimentación del CDR, que es un foso de almacenamiento de

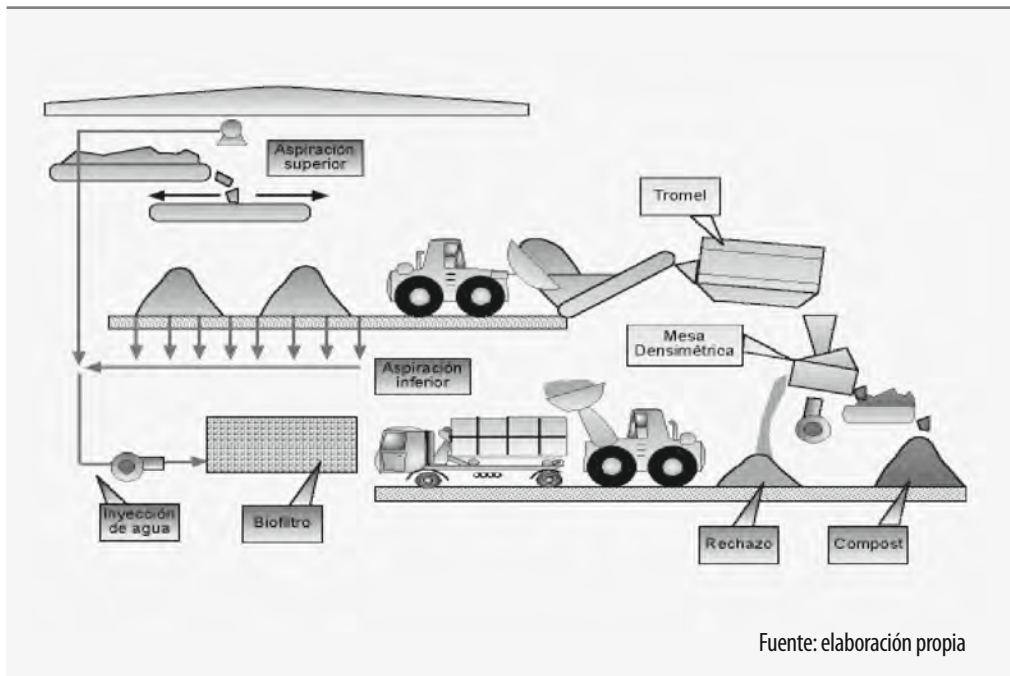
7.500 metros cúbicos. Es mayor que el anterior, a pesar de la paradoja de que se le quitan toneladas de residuo porque, evidentemente, la densidad de esta parte del residuo es bastante más pequeña que la parte que va a compostaje, que tiene una densidad mucho mayor. Las dos grúas de carga de CDR son de ocho toneladas de capacidad.

Todas las grúas pueden alimentar tanto el CDR como las tres líneas de incineración y la anterior a los cuatro alimentadores de residuos y a dos pulpos de tipo semiconcha accionados por motor hidráulico, igual que el otro sistema.

La parte orgánica que ha pasado por los agujeros de la criba giratoria o trómel va primero a una nave de compostaje con un biofiltro para evitar que los olores salgan al exterior y una planta de afino de ese compost para conseguir que se pueda vender en el mercado.

En la **[Figura 2]** se observa cómo es la planta de compostaje y afino, en la que con unas líneas y tras pasar por una separación, también manual, de plásticos y elementos metálicos, va a la nave de compostaje, que tiene una parte cubierta y otra descubierta.

[Figura 2] Diagrama de la planta de compostaje



De la nave de compostaje, donde se realiza el compostaje de la materia orgánica, vía unos alimentadores, va a la planta de afino que consta de un trómel, es decir una criba

giratoria también de separación por tamaños, una mesa densimétrica que hace que los materiales pesados, como piedras o vidrios, se separen y quede un compost puro. La nave de compostaje con el biofiltro tiene unas cintas que lo llevan a esas naves, unos separadores magnéticos de metales, separadores manuales de vidrio y aluminio, cintas transportadores móviles, que de igual manera que en la nave de almacenamiento, sirven para el reparto del material. El tamaño de la nave cubierta es de noventa metros de longitud y la parte descubierta es de ciento ochenta metros, una planta de compostaje muy grande. Ese compost está en la parte cubierta durante tres semanas y en la zona descubierta seis semanas. Normalmente se realizan volteos semanales para la oxigenación. Tiene cuatro filtros de depuración de aire de trescientos noventa metros cúbicos cada uno para evitar que salgan los malos olores a la atmósfera. En la fotografía se observa una vista de la parte cerrada y descubierta de la planta de compostaje y una vista de los biofiltros, que evitan la salida de olores.

La planta de afino y compost que sirve para separar las impurezas tiene una criba giratoria con un diámetro de veinte milímetros, que es la parte de posible aprovechamiento, la fracción mayor va a rechazo, de esta fracción menor de veinte va a la mesa densimétrica, que pasa a los elementos de mayor densidad como rechazo, vidrios, pequeños tapones etc., y el resto del compost afinado es el que se aprovecha para la venta.

La planta de valorización energética es una planta similar a una central térmica productora de energía eléctrica pero en vez de emplear carbón, emplea CDR, y la única diferencia es que el sistema de limpieza de gases es muchísimo más sofisticado ya que se exigen unos límites de emisión muy estrictos a pesar de que se emiten menos gases de lo que le exigen a cualquiera de las plantas anteriormente comentadas. Fundamentalmente la planta de valorización energética consta de un incinerador de lecho fluido, una caldera de recuperación de gases de escape, un sistema de limpieza, un sistema de control de emisiones, un turboalternador, un aerocondensador, vapor, sistemas auxiliares y los afluentes de sólidos y líquidos que son mínimos en esta planta.

En la **[Figura 3]** se tiene una vista general de la planta de valorización energética en la que la parte de horno caldera, etc. está cubierta y la parte de limpieza de gases es la que se observa al lado de la chimenea donde se ven los aerocondensadores.

En la **[Tabla 1]** se muestra la composición media del CDR que se produce después de la parte de tratamiento que se realiza al residuo sólido urbano bruto que se recibe en la planta. Este combustible tiene un PCI de 10.000 kilojulios por kilogramo y la planta consta de tres líneas de incineración de 850 toneladas; las grúas de alimentación son de la marca Jaso, el horno de lecho fluidizado rotativo Ebara Rowitec, las calderas son de tipo horizontal Vulcano, el turboalternador es de ABB, el sistema de limpieza de gases de tipo semiseco es Holter-ABT y el aerocondensador es Gea. Ibérica.

[Figura 3] Vista general de la planta de valorización



Fuente: elaboración propia

[Tabla 1] Composición media del CDR

Componente	% Peso	Componente	% Peso
Materiales metálicos férricos	1,7	Celulósicos no reciclables	6,2
Materiales metálicos no férricos	1,8	Tetrabrick	2,3
Plásticos	17,8	Materia orgánica	24,6
Textiles	4,8	Madera	3,4
Cartón	2,7	Vidrio	0,1
Papel impreso	33,6	Resto	1
		TOTAL	100

Fuente: IDAE

El horno incinerador de lecho fluidizado consta de tres tolvas de alimentación similares, seis alimentadores de tornillo (doble para cada caldera para que mientras un tornillo está en mantenimiento el otro esté en funcionamiento). La instalación de valorización energética funciona unas 8.050 horas de las 8.760 horas del año, con un 90 o 91% de horas totales funcionando. Por lo que se trata de que el mantenimiento sea el mínimo posible porque la planta trabaja de continuo durante todas esas horas. La

planta tiene tres hornos de lecho fluidizado tipo TIF de arena revestidos de refractario. La distribución interior en V del aire primario proveniente del foso se saca para evitar que salga al exterior y evitar así los olores, se da de una parrilla inferior de unos tres metros o tres metros y medio, que es por donde se insufla ese aire primario. Para control de la combustión, hay un control de temperatura, presión e incluso brillo de la llama dentro del lecho fluidizado. Se produce una inyección de aire secundario independiente para asegurar la temperatura y tiempo de permanencia de gases mínimos a 850° durante dos segundos, según el Real Decreto 653/2003, y conseguir una completa combustión de los gases. Se tienen seis quemadores de arranque, dos por horno de lecho y seis quemadores de seguridad que funcionan en la parte superior del horno e inmediatamente, si bajara la temperatura de 850° a 870°, mandarían una señal para que los gases estén siempre a 850° durante esos dos segundos. También se recirculan, después de la salida de ciclones, los gases de las partículas más gruesas en el horno para un control de la temperatura con que salen del horno. En la siguiente figura se muestra un esquema de cómo funciona este horno de lecho fluido, que no es ni *bubbling* ni circulante; en los dos laterales se produce una circulación de aire que hace que haya mucho movimiento en esa arena y que los residuos, al entrar en contacto con esta arena, hagan una combustión de prácticamente el 100%. En este punto los inquemados que se consiguen son del 0,75 al 1% del residuo.

Las calderas de recuperación son tres calderas horizontales de Vulcano/Erk, que producen cada una 41 toneladas de vapor sobrecalentado con unas condiciones de vapor de 47 bares y 425°C que es una de las máximas temperaturas (en una incineradora de este tipo las condiciones suelen ser 40 bares y 400°C). La temperatura del agua de alimentación es de 137°, la temperatura normal de entrada de los gases a esta caldera, que es de recuperación, es de 900° y la salida son 200°. Tiene el flujo de gases y cada una consta de dos cámaras radiantes vacías, dos pasos de sobrecalentador, dos evaporadores, economizador, calderín y el atemperador para el vapor de salida. En la siguiente transparencia se tiene un pequeño esquema del flujo de la caldera.

El sistema de limpieza de gases ha sido siempre una de las máximas preocupaciones a tener en cuenta a la hora de diseñar una caldera de este tipo. Se eligió el lecho fluido porque permitía un tratar previamente los gases ácidos con una inyección de caliza en el horno, lo cual da dos ventajas: una disminución de los gases ácidos, tipo HCl o SO₂, antes de entrar en la caldera de recuperación, lo que da más ventajas en el diseño de los parámetros de vapor por tener menos problemas de corrosión en la caldera. Se empieza con un tratamiento previo que reduce los gases tóxicos en el horno antes de empezar en el sistema de limpieza. A la salida de la caldera, los gases van a un ciclón separador de las partículas más gruesas que podrían haber salido del lecho fluido y después de ese ciclón pasa a un absorbedor semiseco en el cual con la inyección de caliza, neutraliza los gases ácidos para conseguir el tipo de emisiones que pide el Real Decreto 436. Aparte tiene una

adición de carbón activo tanto antes como después de ese absorbedor para reducir la cantidad de dioxinas y metales pesados, tiene una inyección del carbón activo después con caliza para que encima se produzca otra reacción secundaria en el filtro de mangas que hace que la reducción tanto de dioxinas y furanos así como de metales pesados, sea la máxima posible. Después pasa por un filtro de mangas que elimina las partículas más finas, luego vía un ventilador de tiro inducido lleva a los gases a la chimenea de 50 m.

Para más seguridad, se ha montado un sistema catalítico de lecho fluido para los NOx, pues a pesar que las temperaturas de salida son bastante más bajas que una parrilla y se podría conseguir que los NOx estuvieran dentro de la reglamentación, para mayor seguridad, se ha montado un sistema catalítico por cada una de las tres calderas SCR para la reducción máxima de NOx y para la reducción de los metales pesados. Por tanto, el sistema limpieza de gases tiene tres líneas compuestas de ciclón separador doble de partículas gruesas (dos ciclones por línea), absorbedor semiseco con inyección de lechada de cal por disco atomizador para conseguir una atomización máxima de la gota, inyección de carbón activo para dioxinas, furanos y metales pesados antes y después del absorbedor, filtro de mangas para las partículas finas, *denos semicatalitic reduction* para NOx dioxinas y furanos, ventilador de tiro inducido y chimenea de 50 metros. Tiene, por supuesto, una línea de preparación de lechada de cal y el carbón activo pero que es única para las tres calderas.

Se tiene, un sistema de control de emisiones que en estas plantas, por exigencia, es exhaustivo. Se realiza, un análisis continuo de monóxido de carbono (CO), de óxidos de nitrógeno (NOx), de los compuestos orgánicos totales (COT), del ácido clorhídrico (HCl), del ácido fluorhídrico (HF), de dióxido de azufre (SO₂), concentración del oxígeno, presión, temperatura y análisis discontinuos, de metales pesados, dioxinas y furanos que se hacen mucho más frecuentemente de lo que marca la reglamentación oficial.

En cuanto al turboalternador, es una turbina de condensación ABB, con un generador síncrono, un sistema de regulación electrónico/hidráulico, dos extracciones para el ciclo de vapor (para el desgasificador y el calentador), vapor de diseño 46 bares y 420o un poco más bajo de la salida de caldera por las pérdidas que puede tener, se produce una potencia en continuo trabajando más de ocho mil horas, de 29 megavatios con una salida de presión de escape de 0,13 bares porque aquí no se tiene agua y se tiene que acudir a un aerocondensador como sistema de refrigeración. En la [Figura 4] se muestra el turboalternador.

El aerocondensador esta compuesto por siete tubos de aletas con una presión de salida de 0,13 bares, sesenta paquetes de intercambio, diez ventiladores de flujo axial, dos conductores de distribución de vapor...

[Figura 4] Fotografía del turboalternador

Fuente: elaboración propia

Finalmente los efluentes sólidos y líquidos que se producen en la planta son escorias que se producen inertes procedente del fondo de hornos, que van al vertedero de Valdemingómez que está al lado. Las cenizas de caldera y limpieza de gases van a un vertedero de seguridad de doble capa de impermeabilización que se ha hecho anexo a la planta y los residuos líquidos no existen porque son utilizados en las distintas etapas del proceso. ||

CAPÍTULO IV

Aplicaciones en el transporte: producción de biocarburantes

1. Hacia el concepto de biomasa

Autor: Mercedes Ballesteros Perdices

Titulación: Doctora en Biología y Master en Biotecnología

Institución: CIEMAT

Cargo: Jefe de la Unidad de Biomasa

2. Producción de biocarburantes y su aplicación al transporte

Autor: Gerardo Novales Montaner

Titulación: Ingeniero Industrial
y Licenciado en Ciencias Empresariales

Institución: Abengoa Bioenergía

Cargo: Director de Expansión en Europa

3. Biocombustibles

Autor: Pablo Eugui Baraibar

Titulación: Licenciado en Derecho y Master en Gestión
y Dirección de Marketing

Institución: ACCIONA

Cargo: Director Comercial y Marketing

4. Proceso de producción de biodiésel. Nuevas materias primas alternativas

Autor: José Aracil Mira

Titulación: Dr. Química Industrial

Institución: Universidad Complutense de Madrid

Cargo: Catedrático

Hacia el concepto de biomasa

MERCEDES BALLESTEROS PERDICES - CIEMAT

Cuando se piensa en las energías renovables como alternativa a los combustibles de origen fósil, lo primero que viene a la mente es la posibilidad de utilizar la energía solar, ya que la cantidad total de energía, procedente del sol, que se recibe en la tierra supera en más de 10.000 veces la demanda energética total de la humanidad. Ahora bien, aunque la energía solar que llega a la tierra es de una magnitud considerable, si se tiene en cuenta la superficie total del globo terráqueo, se observa que esta energía llega de forma poco concentrada, y por este motivo el principal problema que hay que resolver, si se quiere utilizar la energía solar, es el establecimiento de sistemas que concentren esa energía dispersa y la transformen en otro tipo que sea de fácil utilización para la actividad humana.

Además de los sistemas artificiales creados por el hombre para la captación y transformación de esta energía, la fotosíntesis es un proceso seleccionado por la naturaleza para aprovechar la energía solar por los seres vivos, a través de los productores primarios de biomasa, es decir los vegetales. Estos seres autótrofos reúnen las dos características básicas que debe poseer cualquier sistema que pretenda aprovechar la energía solar, es decir: la antena captadora de la radiación (aparato fotosintético) y el sistema acumulador, que en caso de los vegetales está constituido por la biomasa primaria formada, en cuyos enlaces químicos se almacena una parte de la energía captada.

Las políticas energéticas de los países desarrollados, encaminadas a reducir la dependencia de los combustibles fósiles, han impulsado nuevas tecnologías para la utilización de la biomasa como materia prima renovable. Por otra parte, el empleo de biomasa en sustitución de los combustibles fósiles es una medida efectiva para frenar el aumento de los gases de efecto invernadero en la atmósfera.

La biomasa como recurso energético, aparte de las ventajas generales que tienen las renovables (ser autóctonas, generar empleo y ser desde un punto de vista medioambiental más amigables), tiene una serie de características que la hacen especialmente

interesante frente al resto de las renovables. Primeramente hay que destacar que permite un cierto grado de almacenamiento, lo que es importante de cara a la gestión de la misma y distintivo en cuanto al resto de las renovables. En la solar o en la eólica se tiene energía mientras el recurso está disponible sin posibilidad de gestionarlo. En cambio la biomasa se puede almacenar con las ventajas que ello conlleva. De este modo, las plantas de biomasa pueden estar trabajando por encima de las siete mil horas al año y además se pueden adaptar a los picos de demanda. Por otro lado es un recurso flexible, es decir, se transforma de diversas maneras mediante transformaciones físicas, termoquímicas, biológicas, y se dirige a diferentes usos. A raíz de la biomasa se pueden obtener los tres vectores energéticos que utiliza el ser humano: electricidad, energía térmica y biocarburantes para el sector transporte.

La disponibilidad de una biomasa (renovable) que pueda utilizarse con fines energéticos posee dos soluciones principales: la biomasa de origen residual y la procedente de cultivos energéticos.

La biomasa de origen residual puede definirse como el conjunto de materiales biomásicos generados en las actividades de producción, transformación y consumo, que en el contexto en el que se generan no tienen valor económico. La biomasa residual dependiendo de su origen puede clasificarse en: residuos agrícolas, forestales, ganaderos y agroindustriales.

Los residuos agrícolas comprenden todas las partes de los cultivos alimentarios o industriales que no son consumibles o comercializables. Generalmente se trata de residuos lignocelulósicos que se suelen quemar en las propias tierras de labor. Los residuos agrícolas leñosos proceden principalmente de las podas de olivos, viñedos y frutales, por lo que su producción tiene un carácter estacional. La eliminación de estos residuos presenta beneficios medioambientales, y puesto que estos productos no tienen actualmente valor en el mercado, sino que por el contrario su eliminación constituye un coste inevitable para el agricultor, su aprovechamiento puede considerarse un beneficio para este y el precio de esta biomasa sería el del coste de las actividades de recogida, astillado y transporte.

En el caso de los residuos agrícolas herbáceos, como la paja de cereales de invierno existen equipos convencionales de recogida y preparación para el almacenamiento y transporte habitualmente empleados. Al contrario de lo que ocurre con los residuos leñosos, para los herbáceos existe un cierto mercado, por lo que el agricultor recibe un cierto ingreso por la venta del subproducto.

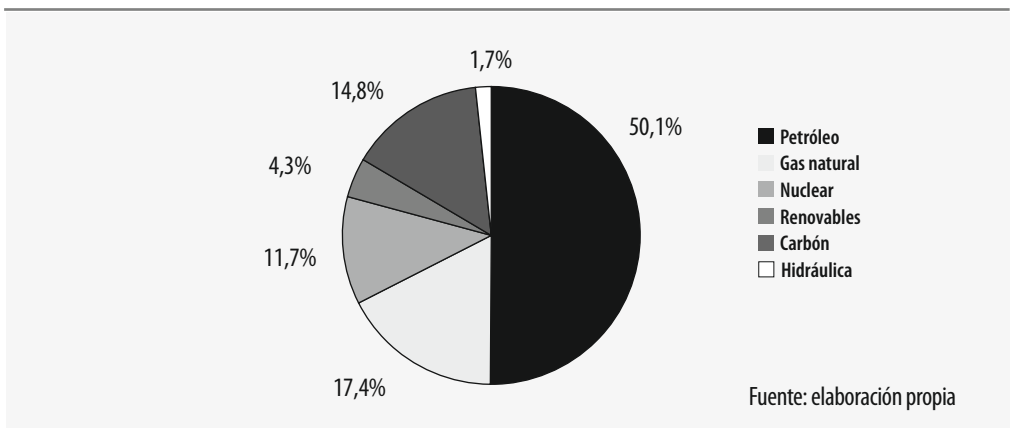
La explotación anual de los bosques da lugar a la recuperación de maderas y troncos, mientras quedan en el terreno cortezas, ramas y hojas (alrededor de 3,5 toneladas por hectárea y año) que aparecen en forma de residuos. Lo mismo ocurre con la biomasa resultante del aclareo del bosque que no es recogida. Desde un punto de vista

tecnológico, la mecanización de los trabajos para hacer posible el aprovechamiento de los residuos forestales es complicada. Se puede plantear su recogida mediante astillado con el fin de hacer posible su transporte en condiciones económicas adecuadas, obteniéndose un producto manejable y de granulometría homogénea. Para ello, existe una gama de maquinaria en el mercado, aunque de cara al futuro puede esperarse el desarrollo de mejores equipos y procedimientos de astillado y la incorporación de equipos de compactación mediante prensas para aumentar la densidad del material para el transporte.

Los residuos de las industrias agroalimentarias corresponden a aquellos de naturaleza orgánica que son producidos por las industrias derivadas de la agricultura (aceite de oliva, azucareras, fábricas de cervezas, destilerías, etc.) y la ganadería (mataderos, lecherías, etc.). La legislación vigente relativa al control de estos efluentes ha conducido a una mejor recuperación de estos residuos industriales.

Los cultivos energéticos son cultivos específicos dedicados exclusivamente a la producción de energía. Estos cultivos, a diferencia de los agrícolas tradicionales, tienen como características principales su gran productividad de biomasa y su elevada rusticidad, expresada en características tales como resistencia a la sequía, a las enfermedades, vigor, precocidad de crecimiento, capacidad de rebrote y adaptación a terrenos marginales. Entre los cultivos energéticos se puede incluir cultivos tradicionales (cereales, caña de azúcar, semillas oleaginosas) y otras no convencionales (cynara, patata, sorgo dulce) que están siendo objeto de numerosos estudios para determinar sus necesidades de cultivo.

|Figura 1| Consumo energía primaria España



A la vista del consumo de energía primaria en España, más del 50% de la energía consumida en nuestro país es petróleo. Éste es un sector particularmente difícil para la entrada de las energías renovables. Una gran parte del petróleo consumido lo es en

el sector del transporte, que también tiene unas peculiaridades que lo hacen especial frente a los otros consumos de energía. Es bien sabido que este sector tiene una gran dependencia energética del petróleo, aproximadamente del 99%. Este sector es un gran consumidor de energía con clara tendencia a aumentar. Los esfuerzos que se están haciendo por parte de las autoridades energéticas europeas de frenar el consumo, están siendo poco eficaces. Por otro lado, además hay que tener en cuenta el tema de la falta seguridad en el suministro, con los problemas que ello conlleva impactando directamente en el precio de los combustibles fósiles que se han triplicado su precio en los últimos años.

Además de los ya mencionados problemas sobre la seguridad en el abastecimiento o en la falta de diversificación hay que tener en cuenta que también es un problema ambiental. Se prevé que entre 1990 y 2010 alrededor de un 50% de las emisiones de CO₂ sean debidas al sector del transporte ya que, por ahora, no se es capaz de frenar estas emisiones. Para cumplir los compromisos adquiridos sobre la reducción de emisiones de CO₂ en transporte debe ser una herramienta fundamental. En la Unión Europea se prevé que en el año 2010 se emitan más de mil millones de toneladas de CO₂ debido al sector del transporte. A la vista de estos datos no cabe duda de que reducir las emisiones de CO₂ en el sector transporte y diversificar las fuentes de energía debe ser una de las prioridades claras de la política energética.

Pero, ¿a qué se tienen que enfrentar los nuevos combustibles en el sector del transporte para alcanzar, en el futuro, estos objetivos de sustitución? Los nuevos combustibles que se vayan a usar tienen que ser aptos para el transporte en superficie de mercancías y pasajeros, y además se tienen que seguir manteniendo los mismos estándares de confortabilidad y de seguridad que ofrecen los combustibles que se están utilizando actualmente, derivados del petróleo. Por lo tanto, hay que valorar las distintas opciones tecnológicas para poder hacer frente a este objetivo de sustitución, y una vez que se hayan identificado hay que proponer un plan de acción para poder llegar a este objetivo de cumplimiento.

Los nuevos combustibles tienen que ser competitivos. Para ello deberán cumplir ciertas condiciones como por ejemplo que su aprovisionamiento sea fácil, seguro y con una buena cobertura, como mínimo similar al que hay para los combustibles fósiles. Por otro lado deben mantener los mismos niveles de confortabilidad y seguridad para el usuario. También es interesante determinar qué inversiones, tanto en infraestructuras como en equipos, son necesarias para introducir estas nuevas alternativas energéticas. Es necesario considerar también su impacto desde el punto de vista medioambiental, particularmente respecto de las emisiones de CO₂.

Poniendo todas las opciones tecnológicas encima de la mesa, las que se pueden utilizar ahora mismo son: los biocombustibles, el gas natural, el hidrógeno, los coches eléctricos, los coches híbridos, el metanol, el dimetiléter, los gases derivados del

petróleo, el diésel a partir de gas... Éstas son las alternativas ecológicas conocidas hoy para ser una alternativa a los derivados del petróleo. Para compararlas se usarán los siguientes criterios: precio, fácil o difícil distribución, qué inversiones nuevas hay que hacer, cómo son desde el punto de vista medioambiental y cómo son desde el punto de vista de la seguridad de suministro. En la Unión Europea se ha llegado a la conclusión de que solamente hay tres opciones que tienen un volumen potencial de más del 5%: los biocombustibles, en el corto/medio plazo, el gas natural en el medio plazo y el hidrógeno en un plazo más largo. Con lo cual en el corto plazo la única alternativa renovable en el sector del transporte son los biocombustibles derivados de biomasa. Y con esto la Unión Europea ha establecido un calendario de introducción de estos nuevos productos.

En el caso de los biocombustibles, que son la alternativa más inmediata, la Comisión ha puesto en marcha dos directivas: la Directiva 2003/30, aprobada el 8 de mayo de 2003 por el Parlamento Europeo, en el que se fija un objetivo de que una proporción creciente de todo el gasóleo y toda la gasolina vendida en Europa sea biocarburante, con un objetivo del 2% en el año 2005 y un 5,75% en el año 2010. Para que esto pueda ser una realidad, en el artículo 16 de la Directiva 2003/96 del 27 de octubre de 2003, se crea un marco para aplicar diferentes tasas a favor de los biocarburantes. Pero ¿qué cantidad de biocarburantes se puede producir en la Unión Europea? No es fácil calcularlo, porque hay muchos factores que influyen. En principio el tipo de biomasa primaria que se esté considerando y la eficiencia del proceso de producción son algunos de estos factores. Por ejemplo, por cada hectárea de colza y bajo las condiciones de cultivo europeas, podemos producir una tonelada equivalente de petróleo. En cambio, si se considerase un cultivo de remolacha para la producción de bioetanol, esta cifra aumenta bastante más y podemos obtener por cada hectárea 5,6 toneladas equivalentes de petróleo. Por todo esto no es fácil determinar de manera general cuál es el potencial de producción de biocombustibles, sino que hay que establecerlo para cada uno de los biocombustibles o para cada uno de los procesos que se apliquen, y además hay que tener en cuenta los nuevos desarrollos tecnológicos que se vayan produciendo.

Aunque la Directiva 2003/30 considera biocombustibles a gran variedad de productos, hay dos básicamente que son los que se van a llevar la cuota de mercado más grande que son el biodiésel y el bioetanol. Además los biocombustibles tienen la ventaja de que los podemos utilizar como combustibles en solitario o mezclados con biocombustibles fósiles, en los mismos sistemas de distribución en que se están distribuyendo los combustibles fósiles, y esto es una tremenda ventaja porque la inversión ya está hecha y los sistemas están considerados.

En el 2006 se produjeron en la Unión Europea alrededor de 5,38 millones de toneladas equivalentes de petróleo, que son solamente el 1,8% del consumo de gasóleo o de gasolina. Los objetivos de la comisión eran que en el 2005 se llegara a un 2%, no

se ha cumplido y para acercarse al objetivo del año 2010 habrá que tomar medidas drásticas y serán necesarias muchas inversiones. La mayor parte de la producción en Europa, casi el 80% es biodiésel y el restante 20% es etanol.

La industria de la producción de materia agrícola, materia prima de los biocombustibles, ahora mismo está basada en cultivos tradicionales y cultivos alimentarios. El uso de este tipo de cultivos es problemático porque están en competencia con los productos alimentarios. Los productos alimentarios en Europa tienen precios establecidos superiores a los del mercado internacional porque tenemos una agricultura subvencionada, pero estos precios son los que garantizan la viabilidad económica del cultivo, con lo cual tenemos que recurrir a ayudas especiales a los agricultores o recurrir al mercado internacional para el aprovisionamiento de materias primas. Sin embargo, la importación de la materia prima hace que haya una reducción en el interés de la actividad. El desafío está en desarrollar nuevos cultivos para fines energéticos. En la naturaleza existen más de doscientas cincuenta mil especies de vegetales superiores, de los cuales sólo se están utilizando veinticinco en los cultivos extensivos, y de estos veinticinco el 50% son cereales, con lo cual queda un gran potencial de selección de nuevas especies por explorar. Hay nuevas líneas de investigación agroenergética haciendo un esfuerzo importante en este sector para intentar pasar de esos cultivos tradicionales a partir de maíz, de caña de azúcar, de cereal, de remolacha o de soja, colza o girasol, a otras materias primas ya seleccionadas para el sector energético. Algunos de estos cultivos más enfocados a la producción energética en lugar de al sector alimenticio son patata, sorgo, *Brassica carinata*, *Jatropha Curcas* o las biomásas lignocelulósicas que, verdaderamente, parece que van a ser el desarrollo futuro más interesante.

¿Por qué hay tantas expectativas puestas en la biomasa lignocelulósica como materia prima para la obtención de etanol? Son varios los motivos que la hacen tan interesante. Por un lado da acceso a un rango mucho más amplio de materias primas que no están ligados al mercado alimentario incluso muchos de ellos pueden tener origen residual. Y por otro lado porque todas las previsiones hacen prever niveles de precios que hagan bajar los biocarburantes de primera generación”. Éstos son el bioetanol y el biodiésel con las tecnologías actuales que conocemos. La transesterificación para la producción de biodiésel y la hidrólisis del almidón o la fermentación directa de la sacarosa en el caso del bioetanol. Sin embargo el futuro debe venir por el desarrollo de nuevas tecnologías para obtener biocarburantes de segunda generación básicamente basados en biomasa lignocelulósica, o mediante procesos biotecnológicos como el caso de la hidrólisis y la fermentación de la celulosa para su transformación en etanol.

También se pueden obtener combustibles sintéticos mediante tecnologías de gasificación. La gasificación es una tecnología muy prometedora que también puede dar productos mediante gasificación y síntesis produce biocombustibles líquidos o

gaseosos, diésel sintético, dimetiléter, alcoholes o basándonos en otros procesos, también transformando la biomasa lignocelulósica mediante *upgrading hidrotérmico* o mediante tecnologías de pirólisis rápida, producir biodiésel. Además la combinación de procesos biotecnológicos con procesos bioquímicos, abre las expectativas de poder desarrollar el concepto de biorefinería, que se está empezando a explorar. Aún no se sabe por dónde va a ir en el futuro, pero sin lugar a dudas que dará las bases para poder derivar de biomasa una industria química semejante a la que ahora está desarrollándose a partir del petróleo. En ese sector la biomasa es la única energía renovable que puede dar, no solamente la energía, sino productos para la industria química competitivos con los derivados del petróleo sin ningún tipo de incentivos. ||

Producción de biocarburantes y aplicación en el transporte

GERARDO NOVALES MONTANER - ABENGOA BIOENERGÍA

Los biocarburantes se obtienen a partir de fuentes biológicas renovables y diversas. Concretamente, en el caso del bioetanol es el componente azucarado de ciertas plantas: almidón de los cereales y otros vegetales, remolacha y caña de azúcar, celulosa de la paja del cereal, etc. Estos combustibles líquidos tienen un menor impacto medioambiental que los combustibles sólidos. Además se pueden mezclar con los combustibles tradicionales y contribuyen al desarrollo rural. El informe *Biofuels for Transports*, April 2004 de la Agencia Internacional de la Energía recoge mucha información sobre los biocarburantes, tanto de biodiésel como de bioetanol.

Los Análisis del Ciclo de Vida, realizados por el CIEMAT y el Ministerio de Medioambiente en 2005 sobre las plantas de bioetanol de Cartagena y La Coruña, muestran datos sobre la mezcla de bioetanol y gasolina: la mezcla de gasolina y el bioetanol (85%) producido en estas plantas evita la emisión de 170 gr de CO₂ (90%) por cada km recorrido, respecto a la gasolina IO 95. Permite además un ahorro de energía fósil de un 36% comparado con la misma gasolina. Del mismo modo la mezcla de gasolina y bioetanol (5%) evita la emisión de 8g CO₂ por cada m recorrido respecto a la gasolina IO 95. Esta misma mezcla permite un ahorro de energía fósil de un 1,12 € comparado con la gasolina IO 95.

En la **[Tabla 1]**, se pueden ver las cantidades de la producción de bioetanol y biodiésel en algunos países, del año 2004 al 2005 (porcentaje de bioetanol sobre el consumo de gasolina o de biodiésel sobre el consumo de gasóleo). Se puede señalar el dato de España, 0,44%, cuando el objetivo estaba en un 2% y un 5,75% en 2010. Este porcentaje tan bajo, se debe a que una parte significativa del bioetanol producido y una parte mayor del biodiésel fueron exportadas y no se consumieron en este país. Pero también es importante fijarse en que, excepto Suecia y Alemania, el resto de los países europeos también se encuentra muy por debajo de los objetivos. Sin embargo el caso de Brasil es muy significativo, pues tiene un 40,7% de bioetanol frente al consumo de gasolina. Es también destacable el de EE UU con un porcentaje de

utilización del 2,7. En ninguno de los dos casos es significativo el valor del biodiésel por lo que no aparecen los porcentajes.

[Tabla 1] Producción (kton) y estrategias de biocarburantes en el mundo

País	2004		2005			
	Bioetanol	Biodiésel	Bioetanol (% de bioetanol sobre consumo de gasolina en contenido energético)	Biodiésel (% de biodiésel sobre consumo de gasóleo en contenido energético)	% de biocarburantes sobre consumo de gasolina y gasóleo (contenido energético)	Estrategia UE (2003)
Francia	102	348	115 (0,63%)	491 (1,30%)		■ Se establecen como valores de referencia indicativos de comercialización de biocarburantes el 2% en el año 2005 y el 5,75 % en el año 2010
España 1	194	13	239 (1,48%)	72 (0,10%)	0,86	
Suecia 1	52	1	52 (3,35%)	1 (0,23%)	2,12	
Alemania	20	1.035	210 (0,55%)	1.682 (4,92%)	3,10	
Polonia	36	–	48 (0,78%)	85 (1,75%)	1,40	■ Se autoriza la reducción del impuesto especial de biocarburantes
Italia	–	320	–	396 (1,43%)	0,90	
Otros UE	87	216	105	162	–	
UE-25	491	1.933	769	2.889	0,92	

Fuente: elaboración propia

En el caso de Brasil, existe una obligación de mezcla de bioetanol del 25%, y casi el 90% de los vehículos adquiridos en este país son flexibles, es decir, pueden funcionar hasta con un 85% de bioetanol. En EE UU también hay una obligación de mezcla en el caso de las gasolinas reformuladas.

La situación actual de las plantas de nuestra empresa en España es que hay una capacidad de producción de 526 Ml (150 Ml en la de Cartagena, 176 Ml en la de La Coruña, y 200 Ml en la de Salamanca). Ya existen varias plantas en construcción (Francia, 200 Ml y Cádiz, 200 Ml). En EE UU actualmente están en producción 420 Ml y hay una también planta en construcción (Ravenna, NE, 325 Ml) y dos nuevas en promoción.

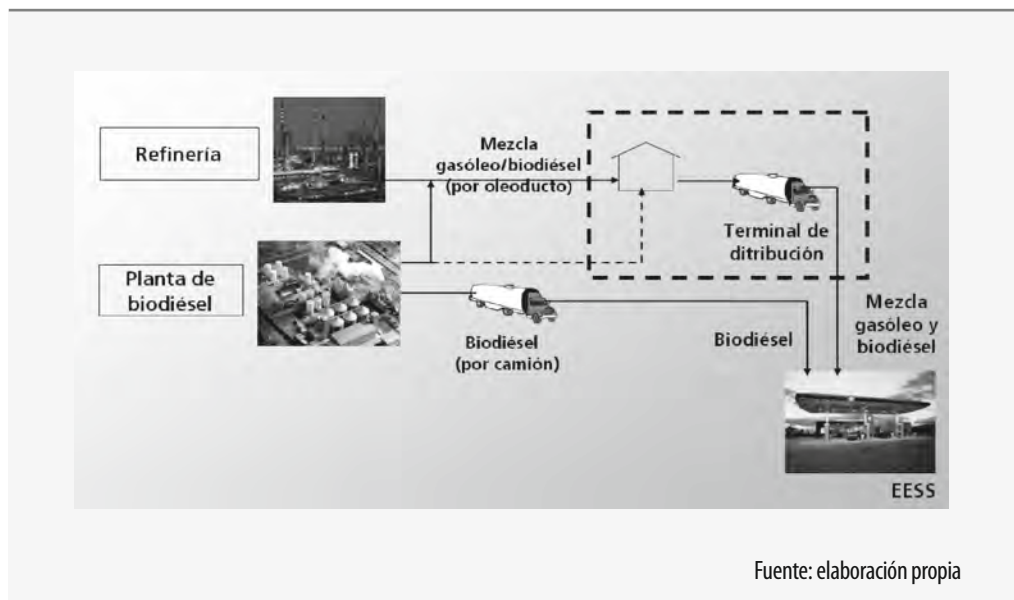
El PER (Plan de Energías Renovables), aprobado por el Gobierno en agosto de 2005, establece un objetivo de producción de 2.200 Ktep en el año 2010, lo que supone un 5,83% del contenido energético del consumo total de gasolina y gasóleo previsto para ese mismo año. Se trata de un porcentaje un poco superior al 5,75% fijado por la UE. En los objetivos fijados en el PER hay cifras año a año.

Se pueden observar en este plan que los objetivos son muy altos para biodiésel y no tanto para bioetanol. Si se aplica el 5,83% al consumo esperado en 2010, las cantidades esperables para los dos biocombustibles serían de 719 Ml de bioetanol y de 2.306 Ml de biodiésel. En cualquier caso se trata de cifras muy importantes comparadas con las producciones de 2005. Hay por tanto un largo camino por delante y no mucho tiempo, ya que una planta de biodiésel no tarda menos de cuatro años en ponerse a funcionar (entre construcción, permisos, problemas imprevistos, etc.), y algo más una planta de bioetanol, pues su construcción es también más compleja.

Es importante destacar el dato de que el tipo 0 está concedido hasta el 2012. Por ello, es muy difícil que alguien tome la decisión de construir una planta en 2007, sabiendo que va a empezar a funcionar en 2010 y sólo le van a quedar dos años de tipo 0. Para contrarrestar este riesgo, el gobierno se ha comprometido a que toda planta que se ponga en marcha durante el período del PER (hasta 2010) goce de diez años de tipo 0.

El sistema de distribución de bioetanol y biodiésel difieren por las características específicas de cada uno.

[Figura 1] Distribución de biodiésel destinado a su mezcla directa con gasóleo



En las plantas de Cartagena y La Coruña en las que se produce bioetanol para la producción de ETBE (*Ethyl Tert-Butyl Ether*, producto que está en el *blending* de las gasolineras) se está siguiendo este proceso: de las plantas se lleva el bioetanol

en ferrocarril o en barco a las refinerías, donde se mezcla con la gasolina y con los demás componentes. A continuación va directamente por oleoducto hasta las instalaciones de almacenamiento de CLH, y de ahí a las estaciones de servicio. Esto no tiene ninguna implicación en la producción, distribución y venta de gasolinas porque se distribuye junto a éstas por el tubo que va a la instalación de CLH. El ETBE fabricado en España puede mezclarse con las gasolinas hasta un 25%, pero en general la mezcla es del 5%. La razón es que no hay más capacidad de producir ETBE, porque la limitación está en las corrientes C4 en los butanos de refinería. Sin embargo, actualmente en Europa se está produciendo un movimiento importante, y las grandes plantas de producción de MTB (equivalente al ETBE pero cuya materia prima es el metanol) están siendo sustituidas para producir ETBE a partir de etanol. Se trata de un componente fundamental en las gasolinas, ya que sustituyó en su día al plomo.

En España, aunque las especificaciones permitirían subir el ETBE, no hay mayor capacidad de consumo de bioetanol vía ETBE. El ascenso de consumo de bioetanol tiene que darse por la vía de la mezcla directa: la gasolina va desde la refinería hasta un terminal de distribución de CLH por oleoducto, y el bioetanol llega en camión desde la planta de producción hasta la misma instalación, donde se almacena en un tanque. La mezcla tiene lugar directamente en el camión que va a la estación de servicio. El motivo de que esta mezcla no se haga en la refinería es que no se tiene experiencia suficiente en este campo, y que, según los propietarios de los oleoductos, no hay garantías suficientes de que la gasolina con el bioetanol no provoque incidencias en otros productos que van posteriormente por el oleoducto, como pueden ser por ejemplo las naftas de aviación, las cuales tienen especificaciones muy estrictas. En Alemania ya se han hecho algunas pruebas, y en Brasil se está haciendo, pero no en países como Suecia o EE UU. En los terminales de CLH hay almacenamiento de bioetanol y mezcla con gasolina, y en las estaciones de servicio, antes de empezar es necesario comprobar que los tanques no tienen agua. Esto se puede aplicar tanto a la mezcla directa con el 5% como a las mezclas con porcentajes superiores. En caso de que el porcentaje de mezcla sea del 15%, debe ser etiquetado para que el consumidor lo sepa. Otro tipo de alternativas, como los FFV (*Flexible Fuel Vehicles*, vehículos flexibles), los cuales pueden funcionar perfectamente con porcentajes del 85% de bioetanol, requieren tanques especiales con otros sistemas.

En el caso del biodiésel hay más opciones. En este momento va desde la planta de biodiésel en camiones a las estaciones de servicio, donde se mezcla al 5% con el gasóleo normal o etiquetado al 20% o al 100% en algunos casos. Pero existe la alternativa (al contrario que con el bioetanol) de que la mezcla se haga en las refinerías.

Las plantas se encontrarán cerca de la refinería, y el biodiésel irá al 5% por el oleoducto hasta la industria, y de ahí se distribuirá a las estaciones de servicio.

Ambos biocombustibles tienen múltiples usos. Por un lado para el bioetanol algunos de estos pueden ser:

- Fabricación de ETBE (45% etanol + 55% isobutilenos).
- Mezcla directa con gasolina hasta el 5% (E5) (límite actual en la UE). Hay un mandato en biodiésel y gasolina por parte de la UE, para que los comités de normalización correspondientes estudien el aumento de este porcentaje al 10%.
- Mezclas superiores: E10 (EE UU), E25 (Brasil), E85 (FFV en EE UU, Brasil, Suecia y España), E95 (autobuses en Suecia, Italia, Holanda, España), E100 (motores especiales, Brasil).
- Mezcla directa con gasoil y biodiésel: E-Diesel (EE UU y Brasil). E-Diésel es etanol y diésel, y se puede mezclar etanol también con gasóleo. Varias ciudades europeas, entre ellas tres españolas, ya están haciendo pruebas, para las que es importante añadir un aditivo. También puede ser gasoil-biodiésel y bioetanol.
- Producción de hidrógeno para pilas de combustible.
- Por otro lado, el biodiésel se puede usar en mezcla directa con gasóleo en distintos porcentajes: B5 (lo que admite la especificación), B10 (lo que probablemente admitirá en unos dos años), B20 o B100.

Los biocombustibles encontrarán mercados masivos en la sustitución de los combustibles tradicionales. Los porcentajes de biodiésel alcanzarán mucha importancia, y las mezclas directas con el 5 ó 10% no llevarán etiquetado. Así, quien eche gasolina o gasóleo en una estación de servicio estará echando, sin saberlo necesariamente, un 5% de biodiésel o bioetanol. Ahora todas las gasolinas, excepto las fabricadas en refinería, tienen una media del 2% de ETBE.

Hay otro tipo de mercados más estables aunque limitados para el bioetanol. El ETBE es un aditivo de las gasolinas para aumentar el índice de octanos. La limitación reside en la capacidad de producción de materia prima (isobutilenos) para obtener más ETBE.

Existen también, por otra parte, nichos de mercado concretos de magnitud muy limitada. Flotas cautivas de vehículos privados o dependientes de las administraciones. Éstos incluyen porcentajes superiores al 10%, pero se trata de un mercado limitado. Los FFV también llevan mayores porcentajes, pero son limitados porque la logística necesaria es muy complicada. En primer lugar se necesita adquirir un vehículo flexible, y después debe existir una red de estaciones de servicio que provea de este tipo de mezclas. En Brasil todas las gasolineras disponen de estos combustibles porque llevan muchos más años. También en EE UU tienen varios miles de estaciones de servicio con estas características, pero sigue siendo un porcentaje muy bajo. Y en Suecia ha aumentado el consumo de vehículos flexibles porque llevan también mucho tiempo y la administración ha apostado muy fuerte por ellos.

Finalmente existen mercados en fase de demostración como son E-Diésel en autobuses de ciudades de la UE (Programa BEST) y EE UU o las pilas de combustible con hidrógeno en autobuses (CUTE, ciudades europeas como Barcelona y Madrid).

La incidencia de las mezclas de gasolina y bioetanol en los automóviles se muestra en algunos ejemplos en distintos países del mundo. En EE UU todos los fabricantes de vehículos admiten hasta el 10%, y la flota de FFV es superior a 3 millones de vehículos. En Suecia la mayoría de las marcas admiten entre el 10 y el 15%. La flota de FFV es de unos 30.000 vehículos. En Brasil 4 millones de vehículos funcionan con bioetanol puro; más de 2 millones con FFV y el resto utiliza gasolina y bioetanol (20-26%).

Estrategia de i+d para el desarrollo de biocarburantes

El bioetanol tiene una ventaja sobre el biodiésel, y es que cuenta con un mayor recorrido a largo plazo.

- Las mejoras tecnológicas permiten el aumento de la rentabilidad, por tanto es ahí donde Abengoa ha fomentado su investigación:
 - Hidrólisis enzimática: en la planta de Salamanca (en funcionamiento desde finales de 2005). Cuenta con una producción de 5 millones de litros a partir de paja de cereal, y se trata de la primera planta industrial de bioetanol del mundo con estas características [Figura 2].
 - Gasificación y síntesis catalítica.

[Figura 2] Planta de Salamanca. Proyecto de hidrólisis enzimática



Fuente: elaboración propia

■ Ampliación del mercado del bioetanol:

- E-Diesel, E-85 y E-95 (actualmente en fase de demostración).
- Reformado de etanol: uso de etanol como materia prima en pilas de combustible, de modo que el origen sea renovable. Hoy en día nuestra empresa tiene dos pilas de combustible en Cartagena para instalarlas en un submarino de la Armada Española. Y en la planta solar de Sanlúcar se está empezando a construir un vehículo que utilizará energía solar y bioetanol como materia prima para producir hidrógeno.

Estrategia de biocarburantes de la UE

Recientemente la UE ha emitido dos comunicaciones (COM-2005-628 y COM-2006-34) para avanzar en el cumplimiento de la normativa, lo que confirma su apuesta clara y decidida por los biocarburantes. Ocho países (Francia, Reino Unido, Alemania, y Bélgica entre otros) ya han establecido medidas para que los consumos de biocombustibles sean obligatorios. Los fabricantes de vehículos están pensando en utilizar biocarburantes para la reducción de emisiones de CO₂ a la que les obliga la UE. Se está realizando un gran esfuerzo para desarrollar las materias primas, pero no sólo en la UE sino en todo el mundo. Para ello se está promoviendo el cultivo de plantas favorables a este fin en tierras de retirada. En este momento, en las plantas de Galicia y Cartagena, más de 100.000 toneladas proceden de tierras de retirada, lo que equivale a unas 40.000 ha. Las tierras de retirada son tierras que no pueden ser cultivadas por los excedentes de algunos cultivos en la UE, pero que sí se pueden dedicar a los cultivos energéticos. El agricultor en este caso cultiva sus tierras y percibe además las ayudas destinadas a las tierras de retirada (45 €/ha.). De este modo sólo se cambia el cultivo y la tierra no se abandona con la consecuente pérdida para el agricultor. ■

Biocombustibles

PABLO EUGUI BARAIBAR - ACCIONA

La proyección del biodiésel se realiza como consecuencia de la dependencia absoluta del petróleo del sector del transporte. En este momento este sector es el mayor consumidor del combustible fósil recurso que, como se sabe, es agotable, está concentrado en pocos países y tiene consecuencias medioambientales perjudiciales en muchos casos ya científicamente probadas.

Si se estudia el reparto de las emisiones de CO₂ entre los diferentes sectores, industria, doméstico ..., se puede ver como el transporte es el mayor contribuyente en este momento y además este porcentaje tiende a crecer. El reto es garantizar el suministro y competir en calidad y precio con el combustible fósil, lo cual, obviamente, no es fácil. Los siglos XX y XXI se pueden denominar como los del petróleo, el gran reto es conseguir sustituir este bien que cada vez es más escaso. En cualquier caso el petróleo tiene muchas aplicaciones en la vida diaria además de mover los motores de nuestros vehículos. De ahí que la preservación del mismo, y sobre todo el no quemarlo, sea una tarea de todos.

Por otro lado el petróleo no se encuentra uniformemente distribuido por todo el planeta, lo que provoca que países como el nuestro, que no disponen de este recurso en su territorio dependa de otros para conseguirlo. La sustitución del petróleo por otro tipo de combustible que se pueda producir en cualquier parte reduciría esa dependencia energética. La citada dependencia unida a la inestabilidad socio-política habitual de los países productores de petróleo hace que los precios aumenten de forma exorbitada. Finalmente no olvidar la importancia del respeto por el medio ambiente. Por todo ello hay que buscar nuevas soluciones alternativas a la situación presente.

Esquema de producción del biodiésel

El esquema de la producción del biodiésel es un esquema sencillo, de todo el proceso, desde la planta pasando por el fruto, la obtención de los aceites y la transesterificación

por la que se produce el biodiésel. El CO₂ emitido en la combustión del biocombustible es el que absorbió previamente la planta en su crecimiento.

El biodiésel en este momento se enfrenta al reto de la calidad ya que la producción del mismo ya es posible. Los vehículos funcionan perfectamente con los gasóleos y con las gasolinas tradicionales y los consumidores no están dispuestos, aunque sean proclives a productos más amables con el medio ambiente, a que su coche no arranque. Por eso la calidad del combustible que pretende sustituir al tradicionalmente usado debe al menos ser igual en calidad.

El biodiésel ya tiene una norma a nivel europeo, la N-14214, que fija los parámetros que garantizan absolutamente que los resultados de ese biodiésel en combustión son los adecuados para que funcione el vehículo. De acuerdo a esta norma sólo se puede hablar de biodiésel cuando se cumpla esta norma y no en otros casos como por ejemplo el metiléster. El análisis del ciclo de vida es otro factor importante para la búsqueda de esas alternativas al petróleo. En él se analiza la energía utilizada o las emisiones producidas en todo el proceso de producción del biodiésel. En función de qué planta se tome como materia prima y la cantidad de energías renovables usadas se obtienen unos valores u otros, pero en cualquier caso son muy favorables al biodiésel.

El biodiésel puede utilizarse en todos los motores diésel bien sea mezclado bien puro al cien por cien. No solamente en países europeos, como en Alemania, en Austria o en los países nórdicos, sino que en España también hay gasolineras que sirven biodiésel al cien por cien, aunque realmente son pocas. Por el otro lado, hay varios vehículos utilitarios que se están moviendo con biodiésel puro y bastantes vehículos industriales, camiones, autobuses ... sobre todo a nivel de flotas cautivas.

Los motores actuales no precisan de ninguna modificación especial para usar biodiésel. Este combustible, además, entre otras características, destaca por su poder lubricante. Existe una distribución bastante importante en Cataluña, donde se comercializa al 20%. Un hecho que se ha detectado es que gran número de taxis se sirven este producto y es debido a que, ya históricamente, han mezclado el aceite con el gasóleo. De alguna forma ese era el producto que estaban encontrando y veían que la eficiencia y los resultados eran óptimos.

En la [Tabla 1], se ven algunos de los parámetros que son obligatorios para que el biodiésel pueda ser comercializado cumpliendo la norma N-14214, que en el ordenamiento español está traspasada a través del Real Decreto del mes de enero de 2006. Anteriormente había otro RD, del año 2003, el 1700.

Se compra los aceites crudos y se refinan con un pretratamiento previo. Ese aceite refinado en la planta se adecua a las necesidades para obtener el biodiésel que cumpla la norma.

[Tabla 1] Parámetros biodiésel según N-14214

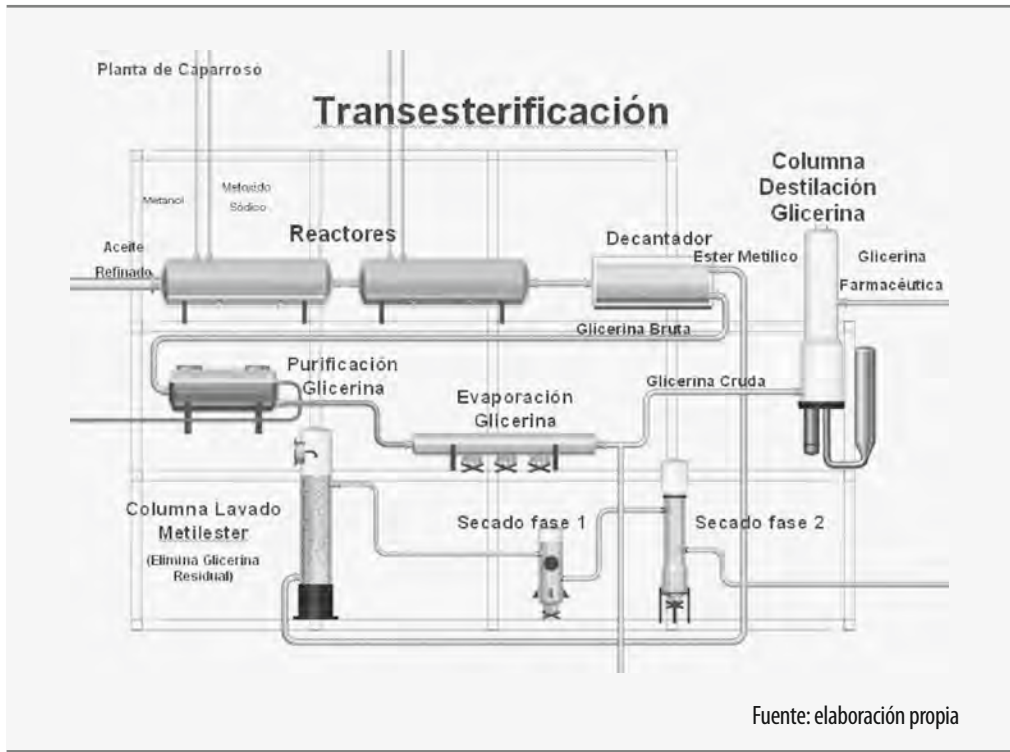
Ensayo	Unidades	Límites		Normas de ensayo
		Mínimo	Máximo	
Contenido en éster	% (m/m)	96,5		prEN 14103
Densidad a 15°C	kg/m³	860	900	EN ISO 3675
Viscosidad a 40°C	mm²/s	3,50	5,00	EN ISO 3104
Punto de inflamación	°C	120		ISO 3679
Contenido en azufre	mg/kg		10,0	prEN20846
Residuo carbonoso	% (m/m)		0,30	EN ISO 10370
Número de cetano		51,0		EN ISO 5165
Contenido en cenizas de sulfatos	% (m/m)		0,02	ISO 3987
Contenido en agua	mg/kg		500	EN ISO 12937
Contaminación total	mg/kg		24	EN 12662
Corrosión en lámina de cobre	Clasificación		Clase 1	EN ISO 2160
Estabilidad a la oxidación	horas	6,0		prEN 14112
Valor ácido	mg KOH/gr muestra		0,50	prEN 14104
Índice de yodo	g I/100gr muestra		120(140)	prEN 14111
Metiléster linolénico	% (m/m)		12,0	prEN 14103
Metiléster poliinsaturados	% (m/m)		1	
Contenido en metanol	% (m/m)		0,20	prEN 14110
Contenido en monoglicéridos	% (m/m)		0,80	prEN 14105
Contenido en diglicéridos	% (m/m)		0,20	prEN 14105
Contenido en triglicéridos	% (m/m)		0,20	prEN 14105
Glicerina libre	% (m/m)		0,02	prEN 14105
Glicerina total	% (m/m)		0,25	prEN 14105
Metales grupo I (Na+K)	mg/kg		5,0	prEN 14108/14109
Metales grupo II (Ca+Mg)	mg/kg		5,0	prEN 14538
Contenido en fósforo	mg/kg		10,0	prEN 14107
POFF	°C		Según época y país	EN 116

Fuente: elaboración propia

En la **[Figura 1]** se puede ver el proceso de transesterificación de los aceites refinados. Se realiza una mezcla entre estos aceites y metanol al 10% aproximadamente.

Mediante un catalizador se procesa, es decir se transesterifica, obteniendo biodiésel y glicerina. La glicerina, lógicamente, no es el objetivo del proceso pero dentro de la obtención del biodiésel se obtiene también cerca de un 10% de glicerinas cuyos usos son múltiples, como por ejemplo farmacéuticos, alimentarios, etc.

|Figura 1| Proceso de transesterificación



La planta de Caparroso puede procesar hasta treinta y cinco mil toneladas de aceite. En este caso los que utiliza son vegetales y de primera utilización. La tecnología es “*fourdy*” y la inversión es de 25 millones. Plantas como esta de este tamaño son una importante fuente de empleos para la zona. Concretamente en esta planta se han creado treinta puestos directos y algunos indirectos. La cifra de negocio se mueve en torno a los 24 millones de euros. Una característica distintiva de esta planta es que usa aceites crudos y refinados sólo de primera utilización. Es una planta preparada para los diferentes aceites vegetales, soja, colza, girasol, palma ...Todos estos son aceites que se usan en función de la época y de las características de temperatura en invierno y verano que son necesarias para cumplir esa norma. Es lógico pensar que hay unas materias primas más adecuadas que otras para cumplir las especificaciones. El biodiésel que sale de planta cumple todos los parámetros y está listo para ser entregado al distribuidor o al cliente en las condiciones adecuadas.

El proyecto Biodina, que fue un proyecto financiado por la Unión Europea, se llevó a cabo con dos autobuses de servicio público en Pamplona y con dos camiones de recogida de residuos sólidos durante casi un año. Se comparó el funcionamiento del autobús que trabajó al cien por cien de biodiésel haciendo el mismo recorrido con otro autobús en paralelo con el gasóleo tradicional. Los camiones se probaron de la misma forma, pero esta vez el biodiésel estaba mezclado al treinta por ciento. Los resultados fueron los adecuados y a raíz de esos resultados ya son bastantes las flotas públicas que funcionan en España, principalmente en mezcla. La EMT de Madrid consume biodiésel en seis vehículos que ya llevan también más de un año de prueba al cien por cien. Concretamente se realizaron en tres Mercedes y tres Ibeco todos ellos con resultados adecuados.

Se han ampliado las pruebas de este combustible incluso a vehículos cuyos fabricantes no los recomendaban para usar biodiésel. Estos vehículos han sido seleccionados de distintas marcas, modelos y sistema de inyección. El personal de la empresa los prueba, de hecho llevan ya más de ciento cincuenta mil kilómetros y no han detectado problemas. Sin embargo el hecho de que los fabricantes no den garantía de que el vehículo pueda funcionar hace que los usuarios estén reticentes a usar este nuevo combustible. Hay ya ciertas gasolineras que son capaces de servir el cien por cien de biodiésel, sin embargo, el usuario final sigue sin atreverse a usarlo. Es comprensible su postura, pues la segunda inversión más importante después de la vivienda es el vehículo. Lógicamente se espera que cumpla con su función todos los días. Por ello, cuando no hay una garantía fiable de alguna forma coarta. Sin embargo se está trabajando también con el sector de fabricantes. Para que el consumidor final se decida por los biocarburantes es necesario que éstos se asuman y acepten de una forma natural y con absolutas garantías.

Se está llevando a cabo otra prueba con camiones en una importante empresa de transporte. Durante un año se están haciendo pruebas con cien por cien de biodiésel y los resultados son óptimos [Tabla 2]. Las rutas de estos camiones son largas, trabajan cuatro mil horas semanales y con resultados adecuados. Unos son Renault, otros son Ibeco ... es decir, se están probando también diferentes marcas.

Los resultados de esta prueba en cuanto a durabilidad, motor y consumos son muy satisfactorios. Desde el punto de vista científico el poder calorífico es menor, sin embargo por una mejor combustión, los consumos finales apenas aumentan. En cuanto a las emisiones, las diferencias en relación a los fósiles son importantes en los porcentajes que se indican en la siguiente tabla. Dado la procedencia vegetal del combustible, al final del ciclo, es decir tras la combustión, la emisión de CO₂ al ambiente es casi nula.

En España ha habido un comité de desarrollo de biodiésel, en el cual han trabajado empresas de referencia muy significativas del país, como Repsol, Cepsa, Abengoa,

[Tabla 2] Resultados de pruebas en camiones

Ensayos en flota de camiones. Resultados	
■ Durabilidad:	no ha habido mayor desgaste que con gasóleo
■ Motor:	menos desgaste con biodiésel que con gasóleo Se mantienen los cambios de aceite de los vehículos
■ Consumos:	similares a los de gasóleo
■ Medidas de emisiones contaminantes:	– CO: - 22% • SO₂: - 99% • NO_x: +5% – HC: - 63% • PM: - 52%
■ Emisión de CO₂:	reducción del 90% de las emisiones, debido al ciclo neutro global
Fuente: elaboración propia	

Ebropuleva y Acciona. Las pruebas que se realizaron fueron fundamentalmente sobre B5. Se realizaron análisis de lubricidad, biodegradabilidad, estudios de estabilidad de almacenamiento ... **||**

Proceso de producción de biodiésel. Nuevas materias primas alternativas

JOSÉ ARACIL MIRA - UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

La Universidad Complutense de Madrid comenzó su investigación en biodiésel en 1994, mucho antes que fuese un tema popularmente conocido. Tienen actualmente varias líneas de investigación. Dos de ellas especializadas en la valorización de la glicerina, y otras dos que trabajan sobre la *Green Technology* (tecnología verde o desarrollo sostenible), en la que se incluye el biodiésel. Este grupo de trabajo ha desarrollado un proceso nacional para la producción de biodiésel, íntegramente en la Universidad Complutense de Madrid.

La American Standards for Testing and Materials define el biodiésel como “ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de lípidos renovables tales como aceites vegetales y que se emplea en los motores de ignición de compresión (motores diésel) o en calderas de calefacción”. Sin embargo, esta definición no es suficiente en Europa, y es que para que aquí se considere biodiésel, debe cumplir la norma N-14214. Si no, se estará hablando de metiléster.

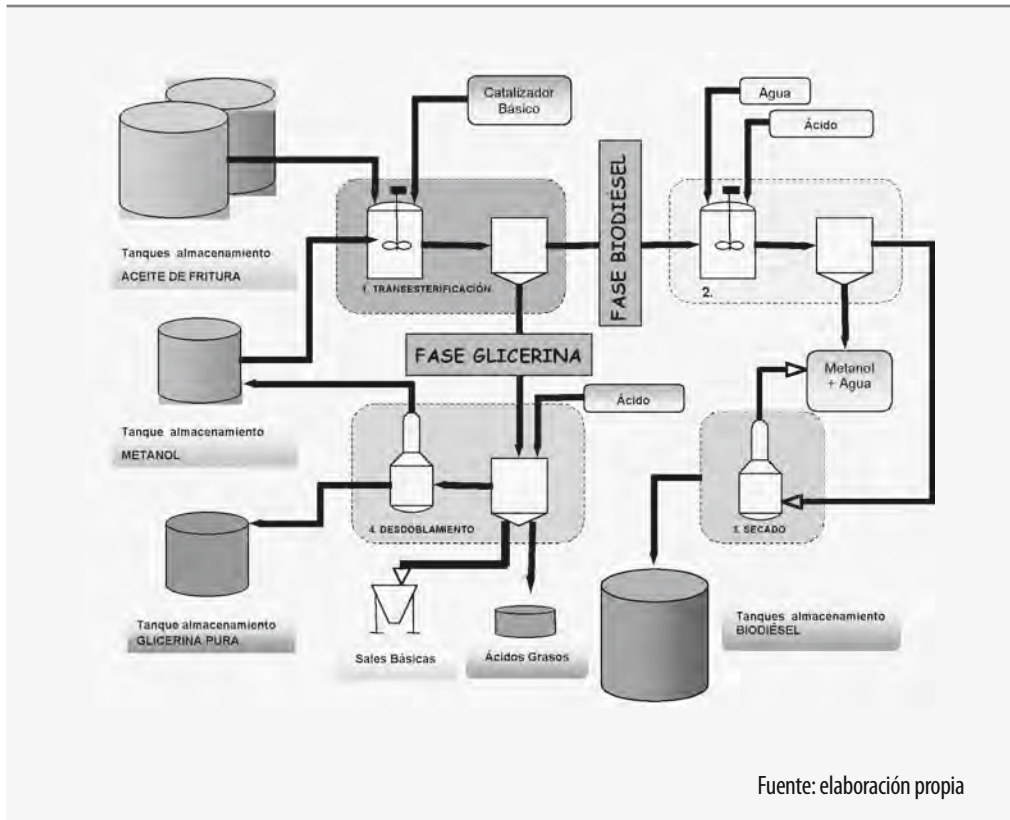
En la norma se incluyen parámetros que dependen de la reacción y de la purificación (índice de acidez, metanol, monoglicéridos, diglicéridos, triglicéridos y glicerina), y otros que dependen de las materias primas (densidad, viscosidad, POF y punto de inflamación). Por estas diferencias, es mucho más complicado producir biodiésel que metiléster.

En el proceso desarrollado por la UCM [**Figura 1**] es un proceso integrado, pues a partir de aceite vegetal usado o virgen se obtiene biodiésel; se recuperan los ácidos grasos que acompañan a la materia prima y después también se recupera el catalizador básico en forma de fertilizante (sulfato o fosfato potásico). Se trata de un proceso verde, porque los únicos residuos obtenidos son las aguas de lavado. Este proceso se encuentra protegido bajo patente española (2194598), patente europea y patente PCT.

El proceso de obtención de biodiésel consta de cuatro secciones: almacenamiento de la materia prima y del producto final, transesterificación (donde se transforma la

materia prima) y sistema de separación física en la fase biodiésel, o mecánica en la fase glicerina. En la fase biodiésel, mediante un tratamiento de lavado y secado, se obtiene biodiésel, que cumpliría la norma si se activara.

|Figura 1| Proceso de transesterificación



Por otra parte se obtienen ácidos grasos, fertilizante y glicerina. Dependiendo del tipo de glicerina, la purificación puede ser más o menos compleja. Este proceso tiene glicerina del 82-85%, frente a la de otras empresas como por ejemplo Acciona, que saca 100% porque tiene doble destilación para obtener glicerina farmacéutica. La UCM está en la red española de valoración de la glicerina. Ya en 1994 y 1999 estuvo en dos proyectos liderados por Sofiproteol, empresa madre de Diéster. Conviene decir que los franceses llevan casi diez años de ventaja en la valoración de la glicerina respecto de España.

La reacción química de obtención del metiléster; con aceite vegetal y tres moléculas de alcohol, se obtiene metiléster y glicerina. En números totales, con 100kg de aceite vegetal y 10kg de metanol salen 100kg de biodiésel y 10kg de glicerina. En este momento en Europa se está produciendo unos 2,5M t de biodiésel, por

lo que se obtienen 2.600 t de glicerina a la que es necesario buscar una salida. Cuando se empezó a trabajar en 1996, el kg de glicerina costaba entre 600 y 700 ptas, mientras que ahora cuesta menos de 200 ptas. Esta bajada de los precios refleja claramente la inundación del mercado de la glicerina a raíz de la producción masiva de biodiésel.

Para producir biodiésel se necesitan ciertas materias primas: aceites vegetales (aceites vegetales de semilla, aceites vegetales de final de campaña, aceites modificados genéticamente, aceites vegetales alternativos y/o aceites fritos usados), y alcoholes (metanol y/o bioetanol). En el proceso interactúan también los catalizadores, que pueden ser homogéneos o heterogéneos. Hasta ahora la única planta industrial con un proceso homogéneo es la de Diéster en París, con tecnología IFP (Instituto Francés de Petróleo), que comenzó a funcionar a principios de abril de este año.

Por otra parte, es importante trabajar con la temperatura, la relación molar, la concentración de catalizador, la presión y la agitación. El control de estas variables resulta imprescindible para cumplir los parámetros de calidad debido a la reacción química. Se trabaja con una relación molar de catalizador de 6-1 en vez de 3-1. Si se trabajase con un reactor o dos, se podría ajustar la relación molar desde el punto de vista económico.

Después, en el biodiésel, es necesario cumplir la norma de rendimiento y los estándares de acidez, contenido en metanol, glicéridos, glicerina libre, índice de yodo y contenido en fósforo. El índice de yodo que marca la norma 14214 son 120, que sólo lo cumplen la colza y la soja. El girasol, producto de los países del sur de Europa, tiene un índice de yodo de 137 ó 138. Sin embargo se ha pasado el periodo de reclamación y en la UE se ha acabado permitiendo índices de yodo de hasta 140.

Dentro del proceso de producción del biodiésel, hay que profundizar en el tema de las materias primas, que es un gran problema con el que se encuentra un productor de biodiésel.

Para elegir las materias primas hay que fijarse en la calidad constante y en las producciones fijas. Francia produjo 450.000 t de biodiésel, y en 2005, 460.000 t, lo que significa que no aumentó su producción. Alemania, por el contrario, obtuvo una producción de biodiésel de 80.000 t en 1998, y de 1,35 millones de t en 2005. La diferencia entre ambos países reside en que Francia utiliza sus propias materias primas, mientras que la colza que usa Alemania se importa toda de Ucrania. Los franceses han acomodado su producción agrícola a su producción de biodiésel. Por otra parte, resulta imprescindible someter los aceites vegetales no refinados (materia prima) a un proceso de acondicionamiento y pretratamiento.

Las materias primas utilizadas para la producción de biodiésel son las siguientes:

■ Aceites convencionales:

- Aceite de girasol.
- Aceite de soja.
- Aceite de coco.
- Aceite de palma.

■ Aceites alternativos (en los que reside el futuro):

- Aceite de *brassica carinata*.
- Aceite de *cynara cardunculus*.
- Aceite de *camelia sativa*.
- Aceite de *crambe abyssinica*.
- Aceite de *pogonius*.
- Aceite de *jatropha curcas* (Centroamérica y el centro de África).

Los franceses han trabajado también con aceite de girasol de alto oleico, mientras que en España se usan aceites de fritura usados. Como anécdota está el aceite de microalgas, con el que se puede obtener biodiésel, pero del que no existe producción alguna.

La UCM ha trabajado con aceite de girasol y colza crudo, sinterizado, decolorado, neutralizado, seco y refinado. También con aceite de oliva, que es el mejor aceite para producir biodiésel. Se ha utilizado de final de campaña, con una acidez del 30%, del que mediante un tratamiento de presterificación se ha obtenido biodiésel; con aceites alternativos suministrados por Colpe y Alcor; con *brassica carinata* estándar y de bajo y alto erúico; con aceite modificado genéticamente (alto oleico), suministrado también por Colpe. En la planta de Alcalá de Henares se trabajó con aceites de fritura. En laboratorio se ha conseguido que todos estos aceites produjeran biodiésel, es decir, se ha cumplido la norma 14214.

Sin embargo el mayor problema al que se enfrenta un productor para cumplir los parámetros de purificación son los catalizadores.

En cualquier tipo de alcoholisis de aceites se puede trabajar con cuatro tipos:

- Catálisis homogénea ácida.
- Catálisis homogénea básica.
- Catálisis heterogénea (planta de París).
- Catálisis enzimática.

Esta presentación se centró en la catálisis homogénea básica, que es la utilizada en casi todo el mundo. En ella se pueden emplear catalizadores hidróxidos alcalinos,

alcóxidos alcalinos y carbonatos. Las ventajas de este tipo de catálisis son que tiene una velocidad de reacción 1.000 veces más rápida que la catálisis heterogénea y que necesita unas condiciones moderadas de presión y temperatura (entre 25 y 60°C), al contrario que la heterogénea (150 kg de presión y 140°C de temperatura). Es verdad que con la catálisis heterogénea se produce glicerina pura, pero se duda de que no haya reacciones de craqueo que contaminen el biodiésel. Por otro lado los inconvenientes son la formación de jabones, que hace disminuir la concentración del catalizador, la conversión, y provoca la necesidad de etapas de aislamiento y purificación.

Algunas posibles soluciones para su uso son la utilización de aceites de baja acidez o de aceites y alcoholes anhidros, y realizar un balance económico de la materia prima.

A pesar de que estos ensayos son a nivel de laboratorio y no a escala industrial, en cualquier caso entre el 70 y 80% del coste total del biodiésel proviene del coste de la materia prima. Por ello la elección de esta última es muy importante. Con este objetivo los catalizadores que se han utilizado son:

- Homogéneos: fuertemente básicos y fuertemente ácidos.
- Heterogéneos: resinas de intercambio aniónico y catiónico, óxidos metálicos, zeolitas, ácidos de Lewis y catalizadores de titanio y zirconio.
- Enzimáticos.

De todos ellos, los únicos que han dado rendimientos atractivos desde el punto de vista industrial y económico son los catalizadores fuertemente básicos. Dentro de éstos, en el laboratorio se han utilizado metóxido potásico, metóxido sódico, hidróxido potásico e hidróxido sódico. La pureza del éster metílico del biodiésel final es la misma que los hidróxidos, y el rendimiento, un poco mayor, porque estamos disminuyendo la cantidad de jabón que se forma. Pero los metóxidos conllevan problemas de manipulación y son más caros que los hidróxidos. Por ello se ha usado hidróxido potásico. Si se trabajase en cantidades similares de sodio y potasio, los rendimientos serían los mismos.

El biodiésel no resulta muy fácil de conseguir porque es una reacción de tres etapas en serie y reversibles. La primera es éster metílico y diglicérido, la segunda éster metílico y monoglicérido, y la tercera, éster metílico y glicerina. En la reacción de formación, es necesario trabajar siempre con exceso de alcohol de forma que la reacción quede desplazada hacia el éster metílico. Hay que agotar casi totalmente la reacción, pues la norma 14214 marca un rendimiento máximo de monoglicérido del 0,2%.

Pero hay dos reacciones más: reacción de saponificación de aceites y grasas, que produce jabones con toda la acidez que haya en la reacción, lo que provoca la pérdida de rendimiento. Y toda la humedad va a una reacción de neutralización para producir

agua al metiléster para producir jabones. Estas tres reacciones en paralelo y las otras dos, más rápidas desde el punto de vista cinético, suponen un problema.

En el proceso integrado de biodiésel UCM-IDAE, en la mezcla de la reacción se tiene alcohol, biodiésel, glicerina, sales básicas y glicéridos (monoglicéridos, diglicéridos y triglicéridos). Se hace una separación, ya sea física o química, y se obtiene por un lado glicerina (de la que, por otro proceso de acondicionamiento sacamos glicerina al 82%, ácidos grasos y fosfato potásico; y por otro lado, se recupera el exceso de alcohol y se devuelve al sistema de partida. Normalmente se afirma que el biodiésel es biodegradable, pero en realidad, si se utiliza metanol, sólo lo es en un 91%. En el proceso desarrollado se trabaja con bioetanol 100% biodegradable. En las zonas sensibles de EE UU (minas, sistemas acuáticos, parques nacionales, etc.) se utiliza bioetanol, pues cualquier tipo de derrame se degrada en unos veinte días. En la UE se va a potenciar su uso dentro de la producción de biodiésel.

Siguiendo con este proceso, con el sistema de purificación se obtiene biodiésel purificado. Es importante observar que a las plantas pequeñas sólo les interesa el biodiésel, mientras que en las plantas grandes, para que resulten rentables económicamente, producen además glicerina que debe ser valorizable.

El diagrama del proceso desarrollado por nosotros, donde se hace una separación, purificación y acondicionamiento; si se quiere conseguir fosfatos, se usa la disolución de fosfórico en el preacondicionamiento de glicerina, y si por el contrario se quiere obtener sulfatos tenemos que trabajar con ácido sulfúrico.

Como se ha dicho anteriormente, se trata de un proceso integrado y verde: a partir de la materia prima se obtiene biodiésel y glicerina; la acidez que viene con la materia prima se recupera con los ácidos grasos; el catalizador con el sulfúrico fosfático que se introduce en fosfatos; el biodiésel cumple la norma, y el agua de lavado puede ir directamente a red si se trata de una planta pequeña, o se recupera y mantiene en un circuito cerrado en el caso de las plantas grandes. El agua usada procede directamente de la red, por lo tanto es un agua muy blanda y sin purificar.

En cuanto a las nuevas materias primas alternativas, se ha experimentado con aceite de fritura, de girasol y de *Brassica Carinata*. En la planta de Alcalá de Henares, se ha trabajado con los dos primeros, y con poco tonelaje se ha obtenido unos 5.000 kg de biodiésel con aceite de fritura, y unos 20.000 kg con aceite de girasol. Antes de que el autobús de la EMT funcionara con biodiésel de Acciona, desde enero de 2005 hasta junio del mismo año estuvo funcionando con aceite producido en Alcalá de Henares. Los rendimientos no eran tan buenos como los de Acciona, pero superaban en un 8-10% a los del autobús que valía como blanco. Se daban dos particularidades, y es que se trabajaba con un biodiésel del 100%, sin mezclar y sin aditivar. El autobús arrancó a la primera con -8°C, y estuvo funcionando prácticamente sin ningún

problema, exceptuando que el consumo fue algo mayor. Se hicieron las pruebas con aceite de girasol, de colza y de fritura, y se obtuvo resultados muy similares a los de Acciona: un consumo superior en un 1-2%, prioridad de potencia del 2%, y disminución de contaminante de un 25% aproximadamente, trabajando con 70% de gasóleo y 30% de biodiésel.

Es importante resaltar que partiendo de 21 kg de aceite de fritura se consiguieron 19 Kg de biodiésel, es decir un rendimiento del 91%. El problema es que el aceite lo proporcionaban los gestores, contenía mucha materia orgánica en disolución y no se disponía de pretratamiento. Al principio llegaba aceite con una acidez del 0,8 ó 1,1%, pero en junio de 2004 hubo que tirar gran cantidad de producción porque la acidez era del 3 ó 4%. Se decidió arrancar la planta de nuevo con aceite de girasol, y el biodiésel producido fue el que utilizó la EMT para el autobús de prueba. El aceite de fritura había sido una sugerencia del Consejo de Administración de IDAE, pues se pretendía conseguir un buen producto ecológicamente hablando, a partir de un producto nocivo para las depuradoras. Sin embargo, como conclusión de este trabajo se puede extraer que no es nada recomendable el uso de aceites de fritura sin pretratar para la producción de biodiésel.

Otro aceite del que se ha hablado mucho es el de *Brassica Carinata*, o colza etíope, planta que no necesita mucha agua. Para los ensayos el aceite lo suministró Koipe, y en estos ensayos ha funcionado muy bien. Con 19,53 kg de aceite se ha producido 19,22 kg de biodiésel, por lo que el rendimiento es del 99,80%, casi total. El problema es que con *Brassica Carinata* no se da la producción industrial en la UE. ||

CAPÍTULO V

Aplicaciones en el transporte: adaptación de motores

1. El desarrollo de los biocarburantes en España: la perspectiva de una empresa petrolera

Autor: Guillermo Wolff Elósegui

Titulación: Doctor Ingeniero Industrial

Empresa: Repsol IPF

Cargo: Consultor de investigación

2. Comportamiento de biocombustibles en motores alternativos

Autor: Andrés Melgar Bachiller

Titulación: Dr. Ingeniero Industrial

Institución: Fundación CIDAUT

Cargo: Responsable de Tecnología Área Energía y Medio
Ambiente

El desarrollo de los biocarburantes en España: la perspectiva de una empresa petrolera

GUILLERMO WOLFF ELÓSEGUI - REPSOL YPF

Desde el punto de vista de los motores, es esencial distinguir y diferenciar entre combustible y carburante. Los carburantes, a diferencia de los combustibles, deben cumplir una serie de especificaciones acordadas en el sector de la automoción. Los motores se diseñan para que funcionen con carburantes determinados conforme a esas especificaciones. Los motores no queman cualquier combustible, queman un carburante de características determinadas.

El presente artículo se centra en tres grandes bloques:

- I ¿Por qué hay biocarburantes en Europa?
- I Biocarburantes. Características.
 - Biodiésel.
 - Bioetanol.
- I Condicionantes en España y en Europa.
 - Dieselización del parque de automoción.
 - Promoción de biocarburantes.

¿Por qué hay biocarburantes en Europa?

El desarrollo de los biocarburantes en Europa se debe, principalmente, a dos motivos: el aseguramiento de la disponibilidad energética y el problema medioambiental.

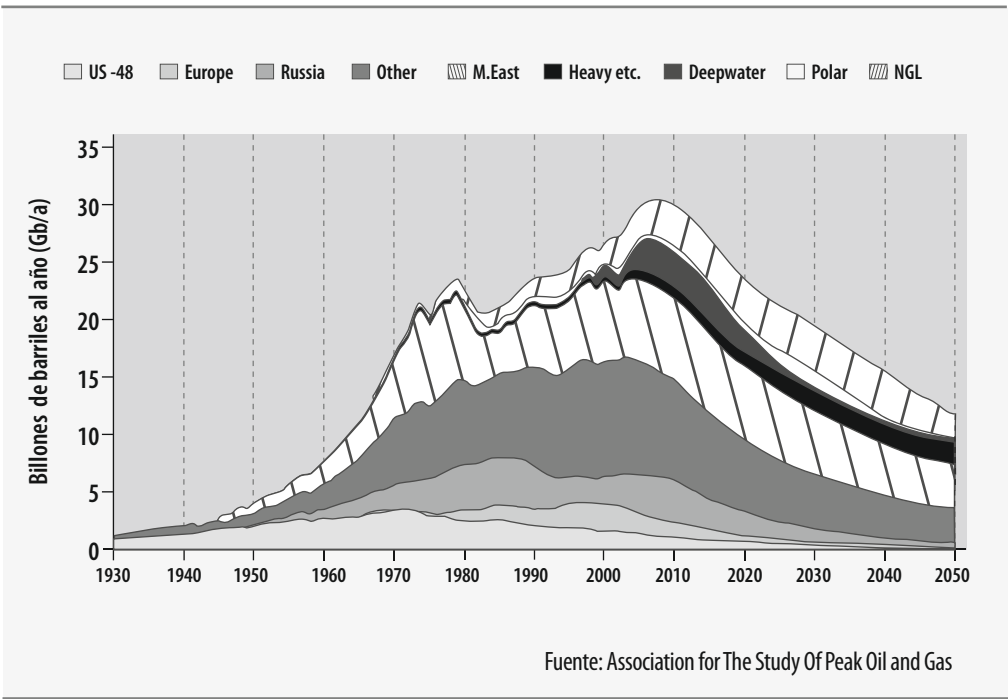
El agotamiento de las reservas de petróleo es un hecho. La pregunta es, ¿cuándo se agotarán las reservas de petróleo? Las reservas probadas mundiales garantizan, al ritmo de consumo previsto, alrededor de cuarenta años de suministro de petróleo. No obstante y previamente al agotamiento del crudo, las predicciones más pesimistas indican que, a partir del año 2010, se producirá un encarecimiento extraordinario de este producto.

Antes de confirmarse el agotamiento del petróleo, hacia el año 2044, se confirmará la existencia de nuevas reservas que, gracias al desarrollo de nuevas tecnologías, se podrán extraer. A día de hoy, la extracción de dichas nuevas reservas no resultaría rentable. Sin embargo, en un futuro no muy lejano con la ayuda de las nuevas tecnologías mencionadas, la extracción resultará rentable. Esta situación provocará que el ritmo de producción en los próximos años no se mantenga constante [Figura 1].

En el Congreso Mundial del Petróleo celebrado en Septiembre de 2005, Arabia Saudí ya elevaba los cálculos de sus reservas de crudo al doble de sus reservas probadas gracias a las nuevas tecnologías de extracción. Es probable que el petróleo no se agote tan pronto como las previsiones indican pero lo que sí es seguro es que se agotará.

Por otro lado, y como segundo factor responsable del desarrollo de biocarburantes en Europa, hay que señalar que la demanda energética frente a las reservas de crudo cada vez es mayor. Este aumento de la demanda energética se debe principalmente al despegue de determinados países en vías de desarrollo, China e India principalmente, que comienzan a demandar grandes cantidades de energía.

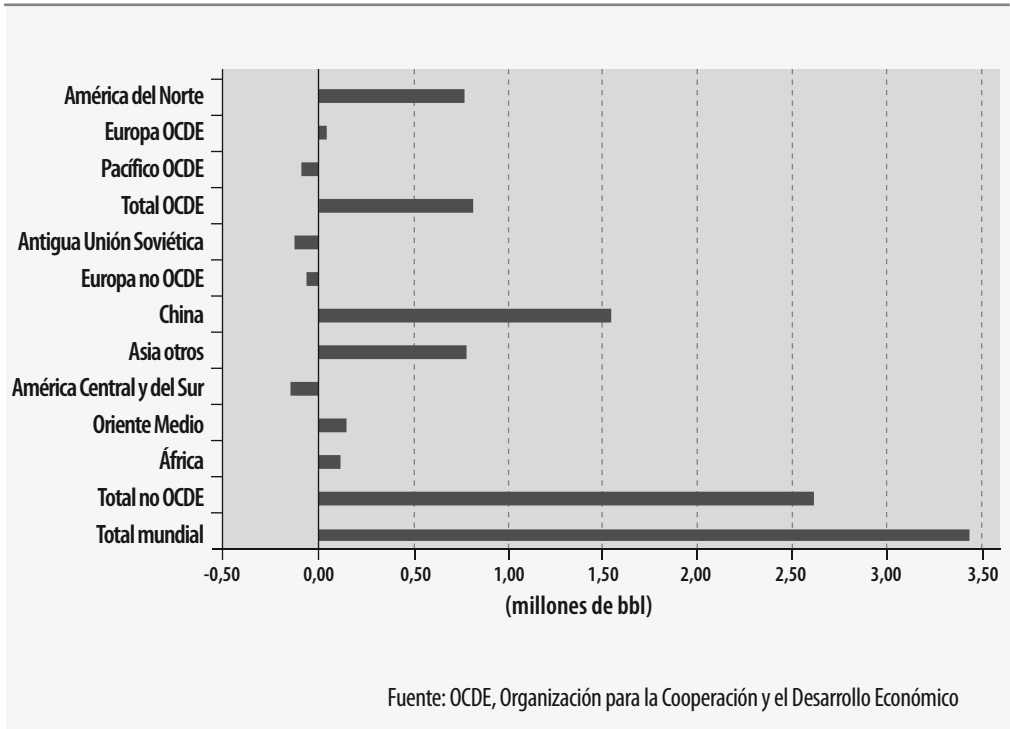
[Figura 1] | Evolución de las reservas de petróleo hasta el año 2050



En este sentido, cabe destacar que el patrón de crecimiento de la demanda de energía ha cambiado totalmente en los últimos años. En el periodo 1999-2003, el 76%

de la demanda energética tuvo su origen en países no pertenecientes a la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico). Entre estos países, merece especial atención el papel de China como se puede observar en el gráfico de la [Figura 2].

[Figura 2] | Incremento de la demanda energética en el periodo 1999-2003

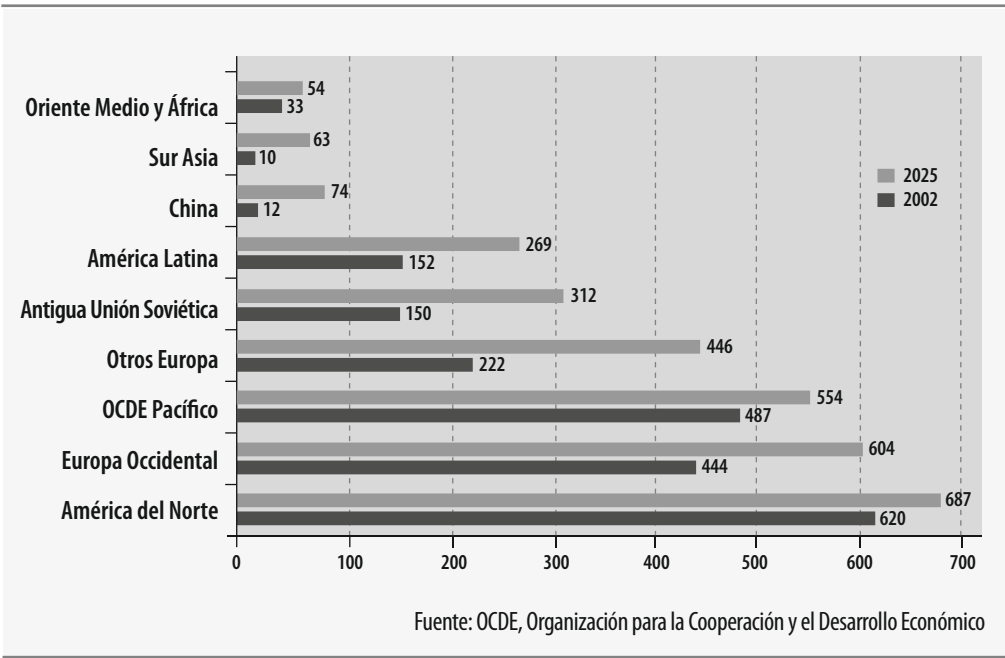


En el caso particular de los vehículos, cabe destacar que mientras que en el año 2002 el número de vehículos por cada mil habitantes en China era tan sólo de 12, las previsiones para el año 2025 aumentan hasta 74 vehículos. El incremento puede parecer poco significativo pero hay que tener en cuenta que la población de China es de mil trescientos millones de habitantes. Esta misma situación puede aplicarse a otros países de Asia como la India.

En el caso de Europa, el número de vehículos por cada mil habitantes en el año 2002 era de 444 y las previsiones para el año 2025 son de 604 vehículos por cada mil habitantes.

En los próximos años se producirá un claro incremento de la demanda energética. Como se puede observar en el gráfico de la [Figura 3], el incremento previsto es considerablemente mayor en los países en vías de desarrollo.

[Figura 3] | Vehículos por cada mil personas en 2002 y 2025



Otra de las razones fundamentales por las que se pretende asegurar el abastecimiento energético en Europa es la localización de gran parte de los recursos naturales. Los recursos convencionales se encuentran en áreas geopolíticamente muy inestables. En las estadísticas facilitadas por BP en el año 2004 [Tabla 1], el 63,3% de las reservas se encuentran en Oriente Próximo. Arabia Saudí, país alineado hasta el momento con occidente, participa en dicho 63,3% con el 22% de las reservas. Las reservas en el resto del mundo son escasas.

Teniendo en cuenta todos los factores anteriores podemos concluir que es prioritario asegurar la disponibilidad energética en una sociedad desarrollada y dependiente de la energía como es la sociedad europea.

Junto al aseguramiento del abastecimiento energético, el desarrollo de los biocarburantes en Europa puede ligarse con otro factor cuya importancia crece cada día, el problema medioambiental.

Actualmente en Europa son dos los principales problemas medioambientales que han favorecido el desarrollo de los biocarburantes: la emisión de gases contaminantes y la emisión de gases de efecto invernadero.

El objetivo que se persigue es la reducción de dichas emisiones. ¿Cómo contribuyen los biocarburantes a la reducción de las emisiones?

[Tabla 1] Localización de las reservas de petróleo

Zona	Reservas (miles de millones de barriles)	Porcentaje (%)
Oriente Próximo (Arabia Saudí)	726,6 (262,7)	63,3 (22,9)
Europa y Eurasia	105,9	9,2
Asia-Pacífico	47,7	4,2
África	101,8	8,9
Norteamérica	63,6	5,5
Centroamérica y Sudamérica	102,6	8,9
Total	1.147,8	100

Fuente: BP Statistical Review of World Energy 2004

Hay que distinguir claramente entre los problemas ocasionados por los gases contaminantes (CO, NO_x, PM, COV, benceno, SO₂) y los problemas debidos a los gases de efecto invernadero (CO₂). En muchas ocasiones se confunden ambos términos y es necesario identificarlos y distinguirlos.

Los gases contaminantes son los responsables de la calidad del aire que respiramos en nuestras ciudades. En el sector transportes y desde el año 1995, se han reducido drásticamente las emisiones de los gases contaminantes. Dependiendo del tipo de contaminante, las reducciones han llegado al 98%. El objetivo es continuar con dichas reducciones aunque cada vez resulta más complicado.

Por otro lado, en el mismo sector transportes se produce continuamente la emisión de un gas que es resultado imprescindible de la reacción de un hidrocarburo con el oxígeno, el CO₂. El dióxido de carbono es el principal responsable del efecto invernadero. Aunque se optimicen las emisiones de gases contaminantes en los vehículos reduciendo principalmente el consumo o utilizando otros carburantes que generen menos CO₂, el aumento del parque automovilístico no contribuye, en absoluto, a la reducción de gases de efecto invernadero. Actualmente ya no se trata de reducir este tipo de emisiones sino de mantener un nivel constante de las mismas.

El Libro Blanco del Transporte de la Unión Europea sobre política común en el sector transporte muestra que el sector transporte es responsable únicamente de la tercera parte de las emisiones del CO₂, aproximadamente el 28%. Dentro de las emisiones asociadas al transporte, el 84% de las mismas se atribuye al transporte por carretera. El 16% restante se reparte entre los sectores aeronáutico, naval, etc. Existen, además del transporte, otro tipo de industrias estacionarias que generan CO₂.

Por todo lo expuesto hasta ahora se concluye la necesidad de incorporar y apostar con decisión por los carburantes alternativos. Sería preferible, aunque no necesario, que el origen de estos carburantes alternativos fuera renovable debido al problema de la emisión de CO₂ y del cambio climático. Por ejemplo, el uso de biocarburantes en el sector de automoción.

La Unión Europea apuesta por la incorporación de los biocombustibles y quiere que en el año 2020 el 23% de los combustibles consumidos en el transporte por carretera sea de origen renovable. Este objetivo se cumplirá de forma escalonada según se muestra en la [Tabla 2].

[Tabla 2] Objetivos establecidos por la Unión Europea para combustibles alternativos usados en el sector transportes

Año	Biocarburantes (%)	Gas natural (%)	Hidrógeno (%)	Total (%)
2005	2	–	–	2
2010	5,75	2	–	7,75
2015	7	5	2	14
2020	8	10	5	23

(Los porcentajes se deben calcular sobre contenido energético)

Fuente: Unión Europea

Biocarburantes. Características

Los principales biocarburantes son el biodiésel y el bioetanol. Son carburantes de origen fundamentalmente vegetal y renovable.

La producción de energía mediante biomasa se caracteriza fundamentalmente porque el CO₂ generado en su combustión se neutraliza en un porcentaje elevado en la fase de crecimiento de las plantas mediante las reacciones de fotosíntesis.

Son combustibles líquidos, gran ventaja en el sector del transporte, y miscibles con los carburantes convencionales –gasóleo y gasolina– en la proporción deseada.

Biodiésel

El biodiésel es un éster metílico obtenido de plantas oleaginosas (aceites).

Tiene características físico-químicas similares a las del gasóleo que se detallan en la Norma Europea EN-14214.

Las principales ventajas del biodiésel son:

- **Carburante renovable.**
- **Bajas emisiones de CO₂.** Es un carburante con bajas y no nulas emisiones de CO₂. Las emisiones del biodiésel en su combustión se compensarán con la absorción de CO₂ por la planta durante su crecimiento. No obstante, el balance de emisiones en el proceso de producción de biodiésel no es nulo, se emitirá CO₂. Por ejemplo, se necesitarán tractores para la siembra y recolección de las plantas. Estos camiones quemarán gasóleo que emitirá CO₂ a la atmósfera.
- **Biodegradable y no tóxico.** Esta ventaja desaparece cuando el biodiésel es empleado en mezclas con gasóleo.
- **Alta lubricidad.**
- **No contiene azufre ni compuestos aromáticos.**
- **Reducción de emisiones de CO, HC's y partículas** (contaminantes que afectan a la calidad del aire que respiramos).

Como principales inconvenientes, el biodiésel presenta los siguientes:

- **Ligero incremento de emisiones de NOx.**
- **Poder calorífico aproximadamente un 14% menor** que el poder calorífico del gasóleo. Por tanto, el consumo de carburante aumentará si demandamos al motor las mismas prestaciones que si éste trabajara únicamente con gasóleo. El aumento de consumo no es lineal. Una mezcla B5 (5% de biodiésel) apenas influye en el consumo. No ocurriría lo mismo si se empleara un B100 (100% de biodiésel). En este último caso, el consumo sí se vería afectado.

El biodiésel, como cualquier otro carburante o biocarburante, se rige por unas especificaciones definidas en la norma anterior. Recordemos que los motores se diseñan para funcionar con un ciclo concreto (Otto, diésel) y un carburante determinado (gasóleo-EN 590, gasolina-EN 280). Los motores se optimizan para las características de cada tipo de carburante y, por tanto, los carburantes deben obtenerse de acuerdo con esas especificaciones. Existe una relación biunívoca entre el diseño del motor y el carburante que se emplee.

La especificación europea del gasóleo, EN-590, admite hasta un 5% v/v de biodiésel en volumen que cumpla con la norma EN-14214. Por otra parte, el Real Decreto 61/2006 –trasposición de la especificación EN-590– admite mezclas de gasóleo de automoción con más de un 5% v/v siempre que se cumpla la especificación EN-590, es decir, siempre que se cumplan los parámetros definidos para el gasóleo en dicha norma (densidad, curva de destilación, etc.) y se indique mediante un etiquetado específico en los puntos de venta.

Según dicho Real Decreto, el biodiésel debe cumplir la norma EN-14214 salvo en lo referente al índice de yodo. Según la norma EN-14214 el límite máximo para

el índice de yodo es de 120. Dicha norma se elaboró en Alemania, país que suele utilizar aceite de colza para la fabricación de biodiésel. El biodiésel elaborado con este tipo de aceite tiene un índice de yodo inferior al límite establecido en dicha norma. Sin embargo, este límite máximo impediría que en España se obtuviera biodiésel a partir de un producto tan nuestro como el aceite de girasol. Por esta razón, el RD 61/2006 establece un límite máximo para el índice de yodo de 140, límite que permite utilizar el aceite de girasol como materia prima para la producción de biodiésel.

El índice de yodo es una característica intrínseca de la naturaleza del ácido graso. A mayor índice de yodo, mayor presencia de insaturados. Esto implicaría más polimerización que, a su vez, conlleva una mayor inestabilidad del producto. El biodiésel es un compuesto que tiende a inestabilizarse con mayor facilidad que el gasóleo.

¿Qué porcentaje de mezcla de biodiésel recomiendan los fabricantes de equipos de automoción? En el caso de los equipos de inyección para motores diésel, la gran mayoría de los fabricantes permiten exclusivamente un 5% v/v de biodiésel. Esto se debe principalmente a un problema de garantías. Los fabricantes de equipos de inyección diseñan estos equipos para que funcionen y trabajen con un carburante determinado que responde a su especificación correspondiente y que ha sido indicado previamente por el ingeniero encargado del diseño del motor. Recordemos la relación biunívoca diseño de motor y carburante.

Siendo el gasóleo el carburante para motores diésel y la norma específica que debe cumplir dicho carburante la EN-590, los equipos de inyección se diseñan para que funcionen con un carburante regulado por la especificación EN-590 que permite exclusivamente una mezcla del 5% en v/v de biodiésel.

Por tanto, los fabricantes de equipos de inyección para motores diésel garantizan un funcionamiento correcto de sus equipos para unas mezclas máximas del 5% v/v de biodiésel que cumpla, a su vez, con la especificación EN-14214.

En general y para cualquier vehículo, el fabricante indica los porcentajes de mezcla de biodiésel recomendados para dicho vehículo. En función del fabricante y tipo de motor, varían los porcentajes de mezcla.

En el sector de los vehículos pesados, según el tipo de motor, se autoriza el uso de biodiésel hasta una proporción máxima del 30% en biodiésel.

Bioetanol

El bioetanol es un alcohol etílico que tiene su origen en los carbohidratos. Al igual que el biodiésel, el bioetanol es un biocombustible de origen renovable.

Las principales ventajas del uso del bioetanol son:

- Carburante renovable.
- Bajas emisiones de CO₂.
- Alto contenido en octano (aprox. 108 RON). Actualmente, existen dos tipos de gasolinas de 95 y 98 octanos, respectivamente.
- No contiene azufre.
- Reducción de las emisiones de NO_x.

Los principales inconvenientes del bioetanol son los siguientes:

- Baja presión de vapor y alto calor latente de vaporización, pudiendo ocasionar problemas de arranque en frío en climatologías frías. La solución a este problema es emplear una mezcla E85 (85% bioetanol y 15% gasolina).
- Problemas de separación en mezclas con gasolina en presencia de agua.
- Ligero incremento de emisiones de CO y HC.
- Baja lubricidad. Este problema se soluciona con aditivación.
- Puede producir corrosión.
- Poder calorífico aproximadamente un 38% menor que la gasolina. Al igual que ocurría con el uso del biodiésel, es inevitable que se produzca un aumento del consumo de carburante si se demanda al motor las mismas prestaciones que en el caso de consumir exclusivamente gasolina.

Al contrario de lo que ocurre con el biodiésel, en Europa no existe una especificación para el bioetanol. En Estados Unidos existe una norma STM que indica los límites establecidos para este biocarburante.

Existen dos vías de utilización del bioetanol en las gasolinas:

- Vía directa o mezcla directa.
- Vía indirecta o a través de la mezcla de ETBE.

La especificación europea que regula las gasolinas es la EN-228 y su trasposición a la normativa española se realiza a través del RD 61/2006, al igual que ocurría en el caso del biodiésel.

Tanto la especificación EN-228 como el RD 61/2006 admiten hasta un 5% v/v de etanol mezclado con gasolina y un 15% v/v en el caso de ésteres.

Al contrario de lo que ocurría con el biodiésel, el bioetanol añadido a la gasolina puede alterar las propiedades físico-químicas reguladas por la norma anterior. En concreto, el bioetanol puede afectar significativamente a la presión de vapor o a la curva de destilación de la gasolina. El RD 61/2006 permite valores máximos para las

características anteriores ligeramente superiores a las permitidas en la EN-228. En la **[Tabla 3]** se muestran los límites permitidos en ambos casos.

[Tabla 3] Límites establecidos en EN-228 y RD 61/2006 para las mezclas de etanol y gasolina

Característica	Unidad	Límites EN 228		Límites RD 61/2006
		Máximo	Mínimo	
Presión de vapor	kPa			
■ Verano		45	60	70
■ Invierno		50	80	85
Destilación	% v/v			
■ E70 verano		20	48	54
■ E70 invierno		22	50	56
■ E100		46	71	74
Oxigenados	% v/v			
■ Etanol			5	5
■ Éteres (MTBE, ETBE, etc.)			15	15

Fuente: elaboración propia

Actualmente existe una gran controversia entre los fabricantes ya que estos, además de verse obligados a homologar sus vehículos de acuerdo con los límites de emisión establecidos en el RD 61/2006 **[Tabla 3]**, deben cumplir igualmente con los límites establecidos para las emisiones de hidrocarburos con el vehículo parado (emisiones de hidrocarburo en parado). Como se ha explicado anteriormente, el bioetanol tiene como inconveniente una baja presión de vapor. En lugares con climatologías cálidas, como por ejemplo todo el sur de Europa, y, principalmente en las épocas estivales, en un vehículo aparcado bajo el sol, los combustibles ligeros tienden a evaporarse simplemente por la acción del calor recibido. Esto, por supuesto, es una fuente de contaminación que afecta a la calidad del aire que respiramos y, todo ello, sin necesidad de encender el motor del vehículo.

Hasta ahora hemos visto las razones por las que es necesario introducir y desarrollar los biocarburantes en Europa (asegurar disponibilidad e independencia energética, aumento de la demanda energética, problemas medioambientales) y cómo afectan éstos al comportamiento de los motores. Pero, ¿qué otras razones existen actualmente que impulsan el desarrollo de los biocarburantes en España y en Europa?

Condicionantes en España y en Europa

Dieselización del parque de automoción

En los últimos años se está produciendo una creciente dieselización del parque de automoción europeo. Esto se debe, principalmente, a que las emisiones de CO_2 no se encuentran reguladas y no existen límites máximos establecidos.

Actualmente, los vehículos en Europa para su homologación no deben superar los valores límite de emisión establecidos en el “Ciclo Europa”. Estos valores afectan a las emisiones de CO, HC, NOx y partículas (contaminantes que afectan a la calidad del aire). Estos valores límite dan lugar a los “niveles Euro”. Actualmente se encuentra en vigor el Euro 4 y en el año 2008 entrará el nivel Euro 5.

Las emisiones de CO_2 se miden pero no se regulan. Se establece una media ponderada de emisiones de CO_2 para vehículos gasolina y vehículos diésel, respectivamente, en función del vehículo homologado.

Por ejemplo, en el año 1995 las emisiones medias ponderadas de CO_2 resultaron de 186 g CO_2 /km. Esto respondería aproximadamente a los siguientes consumos:

- Consumo medio gasolina: 7,75 l/100 km.
- Consumo medio gasóleo: 7,00 l/100 km.
- La Comisión Europea en junio de 1996 quiso rebajar estos niveles un 35% en el periodo 2005-2010. Es decir, las emisiones medias ponderadas de CO_2 para 2005-2010 deberían ser de 120 gr. CO_2 /km. Esto respondería aproximadamente a los siguientes consumos:

- Consumo medio gasolina: 5,00 l/100 km.
- Consumo medio gasóleo: 4,50 l/100 km.

- ACEA, patronal del sector de la automoción, viendo la imposibilidad de cumplir con estos objetivos, adquirió un compromiso voluntario ante la Comisión Europea de reducir las emisiones de CO_2 para el año 2008 a 140 g CO_2 /km, es decir, reducir las emisiones de CO_2 un 25% en lugar del 35% fijado como objetivo por la Comisión Europea. Esto respondería a los siguientes consumos medios de homologación:

- Consumo medio gasolina: 5,80 l/100 km.
- Consumo medio gasóleo: 5,25 l/100 km.

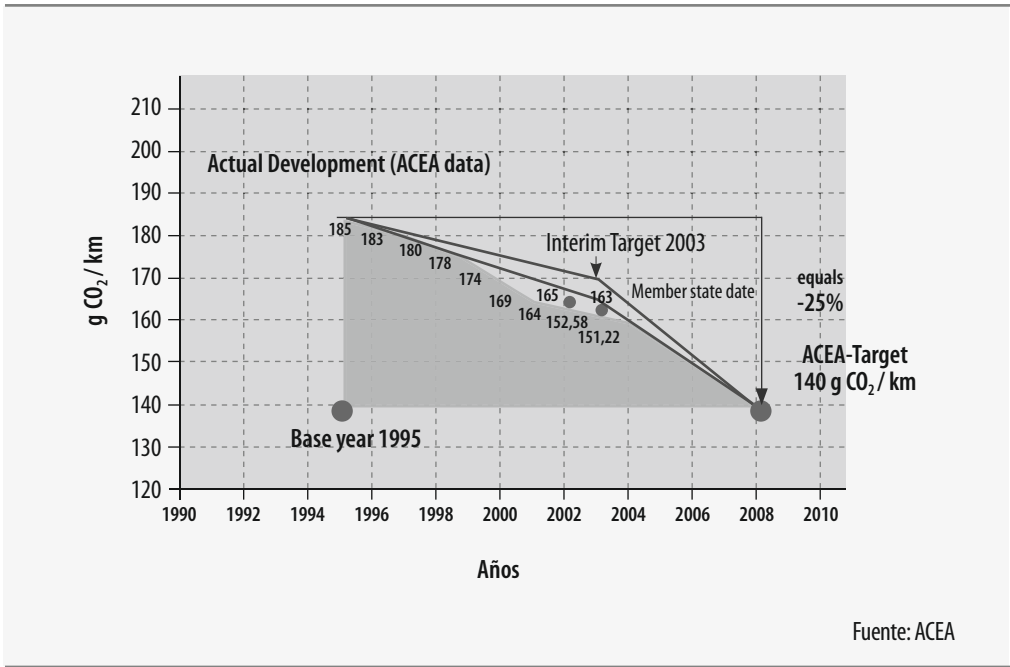
Durante los primeros años se consiguió cumplir con los compromisos adquiridos hasta que comenzaron las ventas de los vehículos SUV (Sport Utility Vehicles o “to-

doterrenos”) que se caracterizan por un consumo extraordinario. Estos vehículos de lujo proporcionan a los fabricantes un margen importante y contribuyen a dar una imagen de prosperidad a nuestras sociedades desarrolladas. En los últimos años las ventas de estos vehículos se han disparado.

Este incremento de ventas de vehículos “todoterreno” provoca que la media ponderada de motores diésel ya no continúe con esa tendencia a la baja y, si esta tendencia continúa en los próximos años, es probable que se vea truncado el compromiso voluntario adquirido por ACEA para la reducción de emisiones de CO_2 .

En la [Figura 4], se puede observar la evolución de las emisiones de CO_2 según información de ACEA. En dicha gráfica se puede apreciar como a partir del año 2001 se produce un punto de inflexión en el ritmo de reducción de emisiones de CO_2 . A partir del año 2001, la reducción de emisiones no se produce de forma tan acusada como en los años anteriores. Éste es el efecto producido por el aumento de las ventas de los vehículos “todoterreno” y sus inevitables consecuencias en la evolución de las emisiones de CO_2 .

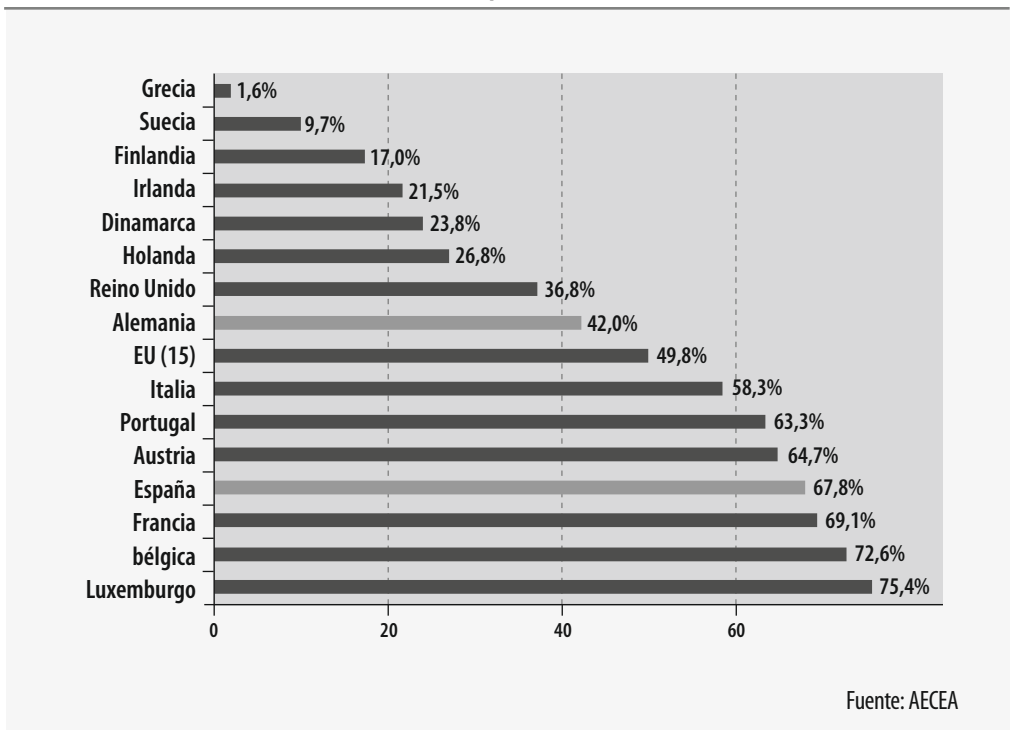
[Figura 4] Evolución de las emisiones de CO_2 desde 1995



El incremento de ventas de vehículos diésel no es homogéneo en todos los países de la Unión Europea. Como puede verse en la [Figura 5], y según datos de ACEA, hay

países como Luxemburgo en los que prácticamente todo su parque automovilístico, un 75,4%, es diésel mientras que países como Grecia en los que apenas se venden vehículos diésel. El valor medio de venta de vehículos diésel en la Unión Europea de los 15 es del 49,8%.

[Figura 5] | Porcentaje de nuevas matriculaciones de vehículos diésel en Europa en 1995



Este incremento de ventas de vehículos diésel ha dado lugar a que en Europa exista un excedente de gasolinas que exportamos a los Estados Unidos con un parque automovilístico fundamentalmente de gasolina, mientras que se ha producido un déficit de gasóleo que no es posible cubrir con el gasóleo que producimos.

Por tanto, si en Europa en general y en España en particular, se quiere reducir la dependencia del petróleo, es necesario reducir el consumo de gasóleo.

Promoción de biocarburantes

Hasta ahora se han visto las razones por las que es necesario el desarrollo de los biocarburantes en Europa y en España. Y, para ello, es necesario y fundamental establecer mecanismos de promoción.

La Unión Europea estableció como objetivo para el año 2010 que el 5,75% en contenido energético de los combustibles empleados en el transporte por carretera procedieran de biocarburantes. Se pretende que este valor sea de obligado cumplimiento. Este objetivo debería ampliarse de forma escalonada al 8% para el año 2020.

El Plan de Energías Renovables (PER 2005-2010) establece unos objetivos todavía más ambiciosos. Según el PER, en el año 2010 el 5,83% en contenido energético de los combustibles empleados en el transporte por carretera deben proceder de biocarburantes.

Sin embargo, existen discrepancias entre los objetivos fijados por la Unión Europea y la normativa fijada en las distintas especificaciones y en el RD 61/2006 de aplicación para las compañías petroleras. Por una parte, la Unión Europea fija sus objetivos como porcentajes sobre contenido energético, mientras que los porcentajes establecidos para las compañías petroleras son porcentajes sobre volúmenes.

Según puede verse en la [Tabla 4], con los valores establecidos actualmente en las especificaciones y RD 61/2006 y teniendo en cuenta la densidad media de la gasolina y el gasóleo, el etanol, el biodiésel y el poder calorífico de cada uno de ellos, es imposible alcanzar los objetivos fijados por la Unión Europea.

[Tabla 4] Discrepancias entre objetivos europeos y normativa actual

Compuesto	Límite especificación (EN228 o EN590 según caso)	Objetivo 2010
Etanol	5% vol = 3,3% energía	5,75% energía = 8,8% vol
FAME	5% vol = 4,6% energía	5,75% energía = 6,3% vol

Fuente: elaboración propia

Cálculos realizados con los siguientes valores:

Compuesto	Densidad (kg/dm ³)	Poder calorífico inferior (MJ/kg)	Poder calorífico inferior (MJ/dm ³)
Gasolina	0,75	43,5	32,6
Gasóleo	0,83	43,2	35,9
Etanol	0,79	26,8	21,2
FAME	0,88	37,1	32,7

Por ejemplo, para alcanzar el objetivo del 5,75% establecido por la Unión Europea en el año 2010, tendría que existir la posibilidad de mezclar hasta el 8,8% v/v en el caso del etanol o el 6,3% v/v en el caso del biodiésel. Ambos porcentajes superan el límite del 5% v/v establecido en las especificaciones EN-590 y EN-280.

¿Qué solución existe para armonizar esto? En estos momentos se encuentra en fase de negociación la posibilidad de que las especificaciones EN-590 y EN-280 admitan hasta un 10% v/v de mezcla de biodiésel o bioetanol. Si esto se aprobara, los fabricantes deberán adaptar sus equipos para que funcionen correctamente con las nuevas especificaciones de los carburantes [1]

Comportamiento de biocombustibles en motores alternativos

ANDRÉS MELGAR BACHILLER - FUNDACIÓN CIDAUT

El presente artículo se estructura en tres grandes bloques:

- Puntos de influencia de un combustible en el funcionamiento del motor.
- Efectos de los biocombustibles en los puntos de influencia.
- Conclusiones.

Puntos de influencia de un combustible en el funcionamiento del motor

Existen varios aspectos, componentes y sistemas de un motor alternativo que pueden verse afectados en su normal funcionamiento por el tipo de combustible utilizado. Se destacan los siguientes puntos:

- Sistema de almacenamiento, transporte y preparación.
- Sistema de formación de la mezcla.
- Proceso de combustión.
- Prestaciones o rendimiento del motor.
- Emisiones.

Sistema de almacenamiento, transporte y preparación

El sistema de almacenamiento, transporte y preparación está formado por el depósito, tuberías, filtros, bombas, etc.

Para garantizar el buen funcionamiento del sistema de almacenamiento es necesario vigilar los siguientes aspectos que pueden llegar a dañar alguno de sus componentes:

- Estabilidad del combustible.
- Evaporación del combustible.
- Ataque a los elementos del sistema. Por ejemplo, corrosión.
- Obturación del filtro.

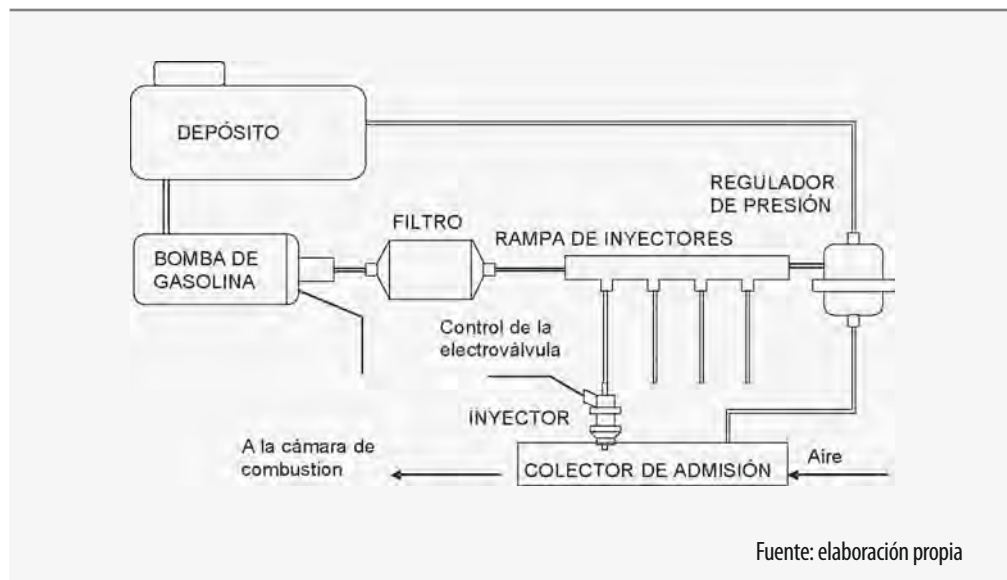
Sistema de formación de la mezcla

El sistema de formación de mezcla varía si se trata de un motor de encendido provocado (MEP) o motor de encendido por compresión (MEC).

En los motores de gasolina o de encendido provocado, el combustible se impulsa desde el depósito a través de la bomba de la gasolina, pasa por el filtro de gasolina y se lleva a una zona presurizada desde donde cada inyector lanza el combustible a su cilindro. Se suelen emplear inyectores que funcionan a baja presión (aprox. 3 bar).

El esquema del sistema de formación de mezcla se puede observar en la **[Figura 1]**.

[Figura 1] Sistema de formación de mezcla en motores de gasolina



Los inyectores son válvulas “todo-nada”, es decir, son válvulas que permanecen completamente abiertas durante un tiempo determinado para controlar la cantidad de combustible que se quema posteriormente mezclado con aire. En motores de gasolina, la cantidad de combustible inyectado se controla a través del tiempo de apertura del inyector.

La regulación del tiempo de apertura del inyector se realiza en función del régimen de giro, la presión del colector, etc. El ajuste fino se realiza posteriormente mediante la sonda lambda. La sonda lambda es un sensor que mide la concentración de oxígeno en los gases de escape y permite realimentar el sistema a través de un circuito de regulación.

La inyección del combustible en el colector de admisión se realiza fuera de la cámara de combustión y, por lo tanto, contra una atmósfera de baja presión.

En los motores de gasolina no existen grandes requerimientos de lubricación ya que las presiones y temperaturas de trabajo son bajas.

En el caso de combustibles en estado gaseoso, en lugar de inyectores se suelen emplear válvulas proporcionales que dosifican el combustible no por el tiempo que permanecen abiertas, como es el caso de los inyectores, sino mediante una determinada apertura de la válvula.

La relación de trabajo aire-combustible en los motores de gasolina debe ser la relación estequiométrica, con una precisión aproximada entre el 2-5%. El catalizador, elemento encargado de eliminar las emisiones de NO_x, CO e HC producidas en el proceso de combustión, no funciona correctamente si no es bajo la relación estequiométrica aire-combustible.

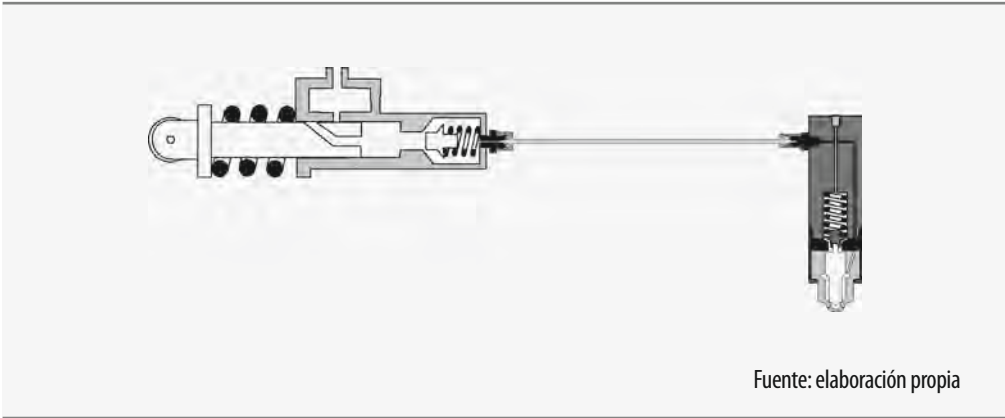
En los motores de encendido por compresión o motores diésel, por el contrario, los inyectores trabajan con presiones no inferiores a 1.600 bares. En este caso, un buen funcionamiento del sistema de lubricación es fundamental a la hora de obtener las altas presiones de trabajo con las bombas inyectoras y los sistemas de distribución de combustible.

Al contrario que en los motores de gasolina, en los motores diésel la válvula dosificadora inyecta directamente el combustible en la cámara de combustión donde la presión y temperatura son muy elevadas. Esto puede dar lugar a problemas de carbonización del combustible y ensuciamiento del inyector.

Existen dos sistemas de control de la inyección de combustible. El primero de ellos es el control hidráulico. En este tipo de control, el inyector es accionado por una bomba que, a su vez, se acciona por un motor. El inyector, al ser una válvula hidráulica, abre cuando la presión es suficientemente alta **[Figura 2]**.

El segundo sistema de control es el sistema que sustituye al anterior en los vehículos de pasajeros, denominado el sistema *common rail*. Se trata de un sistema similar al empleado en los motores de gasolina empleando control electrónico en la apertura del colector. Al contrario de lo que ocurría en los motores de gasolina, la temperatura en

|Figura 2| Sistema de control hidráulico de un inyector en motores diésel



los motores diésel es más elevada. El sistema common rail es un sistema de control más preciso y crítico que el empleado en los motores de gasolina.

Proceso de combustión

Como ocurría con el sistema de formación de mezcla, el proceso de combustión varía si se trata de un motor de gasolina o de un motor diésel. A continuación se describirán los dos procesos.

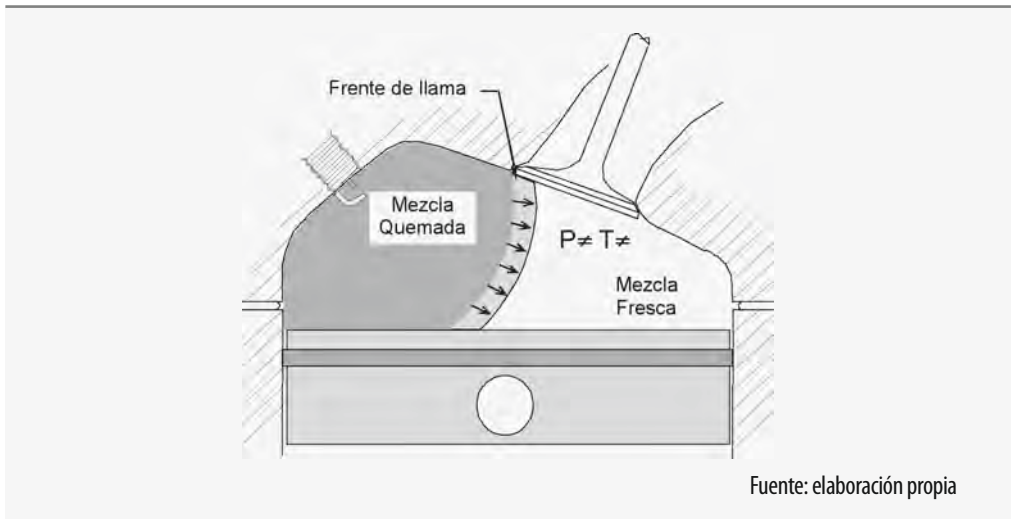
En los motores de encendido provocado o motores de gasolina, el proceso de combustión es un proceso de deflagración por avance de llama sobre una mezcla homogénea. El proceso de combustión se muestra en la **|Figura 3|**.

El frente de llama avanza por la cámara de combustión hasta recorrerla en su totalidad. La velocidad del proceso depende fundamentalmente del combustible y de la relación aire-combustible.

Durante el proceso de combustión puede producirse un problema de autoinflamación de la mezcla fresca que se encuentra en la cámara. En este caso, se produciría una combustión no deseada. Para evitar que se produzca una autoinflamación de la mezcla, el índice de octano de la gasolina juega un papel fundamental ya que a mayor índice de octano, menor tendencia del combustible a autoinflamarse.

En los motores diésel o de encendido por compresión, el concepto es totalmente distinto ya que existen tres fases de combustión.

Desde el momento en que comienza la inyección de combustible hasta que se produce la combustión transcurre un tiempo denominado *tiempo de retraso* (Fase 1).

|Figura 3| Proceso de combustión en un motor de gasolina

Durante este tiempo se producen una serie de prerreacciones que concluyen con la autoinflamación del combustible—efecto que siempre debe evitarse en los motores de gasolina. En esta fase tiene gran importancia el índice de cetano del combustible empleado. Un combustible con un elevado índice de cetano tiene mayor tendencia a autoinflamarse. El gasóleo posee un índice de cetano mayor que la gasolina. Es por ello que se emplee este combustible en los motores diésel.

En la segunda o fase de combustión premezclada (Fase 2), se produce un aumento de presión en la cámara de combustión que conduce a la autoinflamación de gran parte del combustible inyectado durante el retraso.

En la tercera y última fase del proceso de combustión, se produce la combustión por difusión (Fase 3) en la que el combustible se quema a medida que se inyecta, atomiza, evapora y se mezcla con el aire.

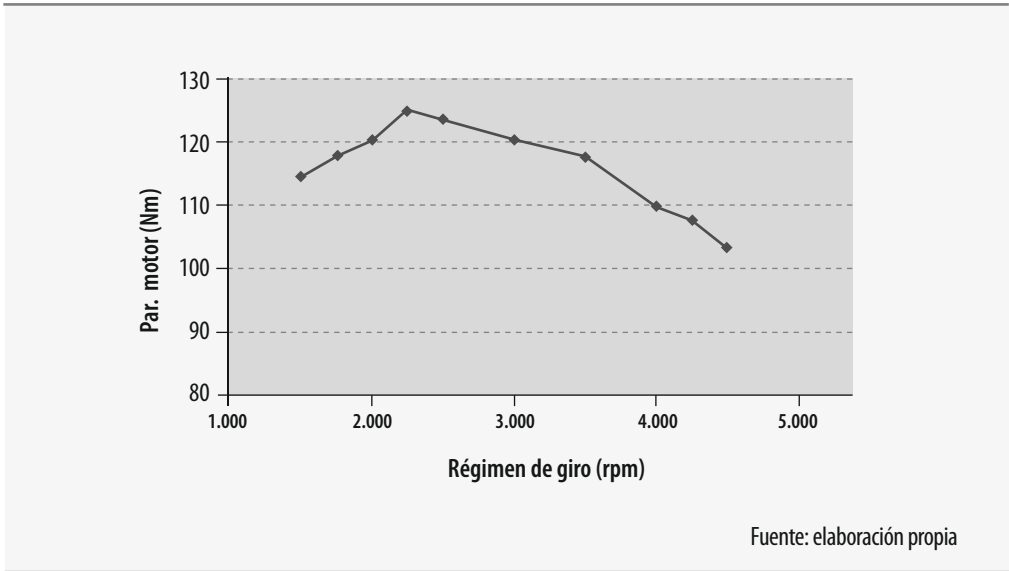
El proceso de combustión en los motores diésel es un proceso muy complejo ya que debe realizarse muy rápidamente y si no se controla la mezcla de aire-combustible que entra en la cámara de combustión, se formarán partículas. Si la mezcla es rica en combustible y, por tanto, deficitaria en oxígeno, se producirá una mayor cantidad de partículas durante la combustión.

Prestaciones

Un parámetro característico que sirve para medir las prestaciones de un motor es el par que proporciona el motor en función del régimen de giro.

En la **Figura 4** se muestra una típica curva del par máximo proporcionado por un motor en función de su régimen de giro.

Figura 4 Curva de par máximo de un motor en función del régimen de giro



El par máximo es proporcional a la cantidad de combustible quemado, asumiendo que el rendimiento del motor apenas sufre variación. Es decir, cuanto más combustible se queme, mayor es el par motor considerando que el rendimiento del motor no se altera.

Esto se refleja en las ecuaciones siguientes:

$$Me = 2\Pi \cdot mfcc \cdot Hc \cdot \eta_e, (1) \text{ donde}$$

- Me: par motor.
- Mfcc: masa de combustible.
- Hc: poder calorífico del combustible.
- η_e : rendimiento del motor.

Expresando el par motor en función de la masa de aire, en lugar de la masa de combustible quemado, obtenemos la siguiente expresión del par motor:

$$Mfcc = macc \cdot Fr \cdot Fe, (2) \text{ donde}$$

- Macc: masa de aire de la mezcla.
- Fr: dosado relativo.
- Fe: dosado estequiométrico.

La expresión del par motor en términos de la masa de aire es el siguiente:

$$M_e = 2\Pi \cdot m_{acc} \cdot Fr \cdot Fe \cdot H_c \cdot \eta_e, (3) \text{ donde}$$

- $(Fe \cdot H_c)$: proporciona una idea de la cantidad de energía que puede liberar el combustible con una determinada cantidad de aire.

En la ecuación (3) se observa que el par motor expresado en términos de la masa de aire es función del dosado relativo, del rendimiento del motor y de dos términos que dependen exclusivamente del combustible empleado, el dosado estequiométrico –relación estequiométrica aire-combustible– y el poder calorífico.

En un motor diésel, el límite del dosado viene limitado por el humo. Si el motor trabajara con un dosado mayor, las emisiones de partículas aumentarían y el motor no trabajaría en su punto óptimo.

En motores de gasolina es habitual trabajar con el dosado estequiométrico para que el catalizador funcione correctamente.

Otro parámetro que mide las prestaciones de un motor es su rendimiento. El rendimiento del motor, entre otros factores, depende de cómo se realice la combustión. El rendimiento aumenta cuanto más rápido se realice el proceso de combustión. Sin embargo, más importante que la duración del proceso es que la combustión se encuentre bien centrada con respecto al punto muerto superior (PMS), es decir, que el proceso de combustión se realice cuando el pistón se encuentre en el punto más alto del recorrido de su carrera.

Emisiones

Las emisiones dependen en gran medida de cómo se realice el proceso de combustión.

Emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx)

Las emisiones de óxidos de nitrógeno se deben a temperaturas demasiado elevadas durante el proceso de combustión. Estas temperaturas son tanto más elevadas, cuanto mayor es el avance del pistón en el momento de la combustión, es decir, cuanto mayor es la proximidad del pistón al punto muerto superior en el momento de inicio de la combustión. Cuanto mayor sea el retraso con respecto PMS, menor es la probabilidad de aparición de NOx en los gases de escape pero menor es también el rendimiento del motor. Recordemos que el rendimiento del motor es tanto mayor cuanto mejor centrada se encuentre la combustión con respecto al punto muerto superior.

Las emisiones de NO_x se reducen con el empleo de catalizadores de reducción. Estos catalizadores no funcionan correctamente en presencia de mucho oxígeno. Este problema se acentúa en motores diésel en los que únicamente puede emplearse este tipo de catalizadores si no existe oxígeno en el escape.

Emisiones de partículas

Las emisiones de partículas se deben a una mezcla deficiente del aire y el combustible. Ante la ausencia de oxígeno, el combustible se craquea y da lugar a la aparición de partículas en los gases de escape. En el proceso de craqueo, el hidrógeno del combustible permanece como tal pero el carbón se convierte en partículas de carbón.

Este problema es propio de los motores diésel ya que en los motores de encendido provocado o motores de gasolina la combustión se realiza siempre sobre mezclas homogéneas.

El contenido de azufre en los combustibles favorece también la formación de partículas durante el proceso de combustión.

Las partículas se eliminan empleando filtros de partículas en el escape.

Emisiones de monóxido de carbono (CO)

Las emisiones de CO se deben a combustiones deficientes.

En motores de gasolina, las emisiones de CO son aproximadamente de 5.000 ppm medidas antes del catalizador.

El catalizador de oxidación se encarga de eliminar los restos de CO producidos durante la combustión.

Emisiones de hidrocarburos (HC)

Los hidrocarburos que permanecen sin quemar al finalizar el proceso de combustión se deben a combustiones incompletas.

Se eliminan con catalizadores de oxidación.

Conocidos los distintos aspectos del motor sobre los que puede influir el combustible, se pasará a estudiar concretamente cómo afectan los biocombustibles, biodiésel y bioetanol, sobre los puntos de influencia anteriores.

Efectos de los biocombustibles en los puntos de influencia

Los biocombustibles que nos van a servir para estudiar el comportamiento del motor son los siguientes:

Biodiésel

A continuación se estudiará el comportamiento de los principales aspectos del motor empleando como combustible el biodiésel:

- Sistema de almacenamiento: se pueden producir problemas de obturación del filtro a baja temperaturas. Estos problemas se corrigen con la aditivación del biodiésel o con el calentamiento del filtro para evitar problemas de arranque en frío.

El biodiésel puede producir la corrosión de algunos materiales. Al igual que la obturación de filtros, se puede evitar la corrosión aditivando el biodiésel.

Se pueden producir problemas de estabilidad a oxidación del biodiésel principalmente cuando su origen procede de aceites vegetales.

- Sistema de formación de mezcla: el uso del biodiésel produce una mayor obturación de los inyectores.
- Proceso de combustión: el biodiésel tiene un índice de cetano similar al índice de cetano del gasóleo.
- Prestaciones: El par motor disminuye con el uso del biodiésel debido a que este biocombustible posee un poder calorífico menor por unidad de volumen. Según la expresión (1), para aumentar el par motor, podría aumentarse la cantidad de combustible inyectado (mfcc) sin llegar a superarse el dosado a partir del cual comienzan a emitirse partículas. Por otro lado, el biodiésel necesita menos aire que el gasóleo para quemarse. Se trabaja con dosados más bajos y puede incrementarse la cantidad de combustible inyectado. En una comparación de par motor para distintas mezclas de gasóleo con biodiésel, el máximo par se obtiene para un combustible 100% gasóleo. El par disminuye a medida que aumenta la mezcla con biodiésel. No obstante, para la mezcla B5 permitida por la normativa actual (5% de biodiésel), la disminución del par motor apenas se acusa. Con respecto al rendimiento, no se aprecia una influencia clara del uso de biodiésel sobre el rendimiento del motor. El biodiésel tiene un poder calorífico menor (38MJ/kg) que el del gasóleo (40,5 MJ/kg). Sin embargo, al tener el biodiésel una densidad mayor, el consumo en litros no se ve demasiado afectado.

I Emisiones:

- Emisiones de NOx: Las emisiones de NOx se mantienen sin variaciones.
- Emisiones de partículas: Como ocurre con todos los combustibles oxigenados, el uso de biodiésel disminuye la emisión de partículas. El carbón que tiene falta de oxígeno durante la combustión en lugar de craquearse puede emplear el oxígeno contenido en el propio combustible para oxidarse. De esta forma, se generarán menos partículas de carbón.
- Emisiones de CO: Las emisiones de CO disminuyen.
- Emisiones de HC: Las emisiones de HC disminuyen.

Bioetanol

- I Sistema de almacenamiento: el etanol presenta problemas de evaporación de combustible en mezclas con gasóleo. En mezclas con gasolina, los problemas son similares a los problemas asociados con la volatilidad de la gasolina.

Las mezclas de etanol y gasóleo tienen problemas de estabilidad. Estos problemas se solucionan añadiendo aditivos a la mezcla.

El etanol es un compuesto muy higroscópico y en las mezclas con gasóleo en las que hay presencia de agua, ésta produce la separación entre el etanol y el gasóleo. Algunos materiales empleados con el gasóleo no son adecuados para su uso con etanol.

- I Sistema de formación de mezcla: pueden producirse problemas de cavitación en las tuberías de inyección en los motores diésel con control hidráulico. Estos problemas desaparecen en los motores diésel con control electrónico o sistema de inyección common rail.

Al mezclarse etanol y gasóleo, nunca llega a alcanzarse el índice de cetano del gasóleo, incluso añadiendo aditivos a la mezcla. Se produce un retraso en la combustión y el motor trabaja fuera de su punto óptimo de funcionamiento.

En motores diésel no es conveniente modificar el avance del motor ya que se produciría un aumento de la emisión de las partículas.

- I Proceso de combustión: el etanol tiene un índice de octanos mejor que el de la gasolina. El uso de etanol permite aumentar el avance y mejorar el rendimiento de los motores de encendido provocado. En mezclas con gasóleo, se empeora el índice de cetano del gasóleo y es necesario aditar.

- I Prestaciones: al igual que ocurría con el biodiésel, el etanol tiene un poder calorífico menor por unidad de volumen por lo que las prestaciones del motor disminuyen si no se corrige la cantidad de combustible aportada.

En los motores de gasolina, este problema se puede autocorregir con la sonda lambda.

El producto (Fe·Hc) es mejor que el de la gasolina por lo que se puede llegar a suministrar más potencia para el mismo motor.

Con respecto al rendimiento del motor, el uso de etanol no varía significativamente el rendimiento con respecto a los motores convencionales. Sí es cierto que en el caso de los motores de gasolina, el rendimiento podría mejorar.

■ Emisiones:

- Emisiones de NOx: las emisiones de NOx se mantienen sin variaciones.
- Emisiones de partículas: el uso de etanol, como ocurre con el biodiésel, disminuye la formación de partículas durante el proceso de combustión. Al tratarse de un biocombustible oxigenado, no se produce tanto hollín durante el craqueo del combustible.
- Emisiones de CO: las emisiones de CO disminuyen.
- Emisiones de HC: las emisiones de HC disminuyen.

Conclusiones

- No existen limitaciones importantes para la utilización de biocombustibles en motores alternativos.
- Es necesaria la adaptación del motor y de los sistemas de suministro para utilizar un biocombustible determinado y conseguir las mismas prestaciones, aunque el poder calorífico sea inferior, que con un motor convencional.
- Los actuales sistemas de control electrónico de formación de mezclas permiten la adaptación de los motores para conseguir prestaciones similares a las de los motores convencionales. La puesta a punto del motor se debe realizar individualmente para cada combustible ya que es necesario un ajuste de reglajes.
- El uso de biocombustibles hace necesario aditivar para conseguir determinadas propiedades del combustible.
- Los combustibles oxigenados disminuyen la emisión de partículas pero no tienen un efecto claro sobre las emisiones de NOx. ||

CAPÍTULO VI

Problemática actual de la biomasa. Enfoque integrado

1. El Plan de Energías Renovables I

Autor: Julio Artigas Cano de Santayana

Titulación: Ingeniero de Montes

Institución: IDAE

Cargo: Jefe del Departamento de Biomasa
y Biocarburantes

2. El Plan de Energías Renovables II

Autor: Andrés de León Llamazares

Titulación: Ingeniero Agrónomo

Institución: Ministerio de Agricultura, Pesca
y Alimentación

Cargo: Subdirector General de Cultivos Herbáceos

3. La visión del sector productor

Autor: Anselmo García Martín

Titulación: Ingeniero Técnico Agrícola y Doctor en
Ciencias Económicas

Institución: Fundación Soriactiva

Cargo: Director

El Plan de Energías Renovables I

JULIO ARTIGAS CANO DE SANTAYANA - IDAE

El Plan de Energías Renovables constituye la planificación energética de carácter indicativo establecida por el Ministerio de Industria respecto a las energías renovables.

Este plan, aprobado en el Consejo de Ministros de finales de agosto de 2005 sustituye al Plan de Fomento de Energías Renovables del año 1999, y tiene un objetivo: llegar al 12% de aportación de energías renovables en términos de energía primaria. Esto supone un incremento de la aportación de las energías renovables de aproximadamente 10 millones de tep (toneladas equivalentes en petróleo), el 50% de los cuales provendría del área de la biomasa.

El marco de referencia es, en primer lugar, la Ley del Sector Energético, fundamentalmente por el gran peso que tienen las aplicaciones eléctricas. La Ley del Sector Eléctrico permite un régimen especial para que la producción de las energías renovables tenga garantizado el acceso a la red. Esto se desarrolla actualmente mediante el Decreto 436, que está en proceso de revisión, y que establece las condiciones económicas. El Plan de Energías Renovables es otro elemento importante; algunas de las medidas que contiene ya se han materializado, como el desbloqueo de las primas para la biomasa a través de la Ley 24/2005 de noviembre. Dicha ley establece reformas para el impulso de la productividad, entre ellas el hacer posible que la prima supere el 90% del precio medio en el caso de la biomasa, y no sólo para la energía solar, como hasta ahora.

El plan contiene un análisis general de la situación actual. En este momento se consumen 4 millones de tep, la mitad aproximadamente en el sector doméstico. Suelen ser aplicaciones tradicionales del ámbito rural, con elementos técnicos poco desarrollados, como estufas, chimeneas... Dentro del sector industrial tiene lugar el otro 50%, y tienen más peso los sectores afines a la biomasa: pasta y papel, madera, alimentación, etc. De todo esto, la parte eléctrica con 350 MW, ocupa aproximadamente 680.000 tep de esos 4 millones de tep, lo que no es muy relevante. Lo que sí lo son hoy en día son los usos térmicos tradicionales. Esto tiene su reflejo en la distribución geográfica.

Zonas con mucha ruralidad y tradición en usos de biomasa, como puede ser Andalucía, tienen un gran peso en el consumo; también, comunidades autónomas con peso en las industrias afines a la biomasa, como Galicia. Castilla-León es, asimismo, un importante consumidor de biomasa.

Contenido del Plan de Energías Renovables

Recursos que pueden servir de suministro.

- **Residuo forestal:** desbroce, residuos de cortas finales, tratamientos silvícolas, etc. Todos ellos se caracterizan por dar un residuo de baja densidad y difícil manejo. Por ello, ponerlo a disposición del usuario es caro. De ahí que pueda darse la paradoja de que productos más nobles puedan tener un precio menor que los productos residuales, por el hecho de que su manejo acarrea menos coste. En cualquier caso, parece que el aprovechamiento de estos residuos precisa que se combine el interés medioambiental que tiene sacar los residuos fuera del monte, con el interés económico que puede tener su utilización.
- **Residuos agrícolas leñosos:** aparte de las dificultades similares de manejo, aparece la estacionalidad. Estos residuos se producen de manera menos dispersa y complicada, pero están unidos a la actividad agrícola, por lo que existe la posibilidad de que residuos como el sarmiento o el ramón del olivo puedan estar disponibles y al agricultor le resulte ventajoso que se los lleven. En el momento en que esto tenga un aprovechamiento económico, algo que antes carecía de valor para el agricultor puede costarle algo al usuario.
- **Residuos agrícolas herbáceos:** dentro de este grupo se puede hablar de los cereales, que más que un residuo son un subproducto, ya que tienen mercado y se vienen utilizando tradicionalmente. Unos años cuesta más y otros menos, pero hay que entrar en dichos mercados sabiendo que tienen otras aplicaciones, fundamentalmente la alimentación ganadera. Por otro lado se encuentra el cañote de maíz o el girasol, que por lo general no tienen aplicación, y como los leñosos, están ahí aunque de momento carecen de valor.
- **Residuos industriales:** pueden ser forestales, formados en la primera o en la segunda transformación de la madera. Se utilizan tradicionalmente como materia prima por la industria del tablero de partículas, de modo que el Plan de Energías Renovables los trata de forma muy diferente a efectos de primas. Los residuos de industrias agrícolas son sobre todo el orujillo, aunque también hay otros. En este momento están teniendo gran presión debido a la demanda exterior, concretamente de Inglaterra. La legislación de este país obliga a que el 10% de la energía distribuida proceda de energías renovables. Esto hace que compense llevar los residuos de otras zonas, como Malasia y España.
- **Cultivos energéticos:** aunque a priori puedan tener dificultades frente a un aprovechamiento en base a los residuos que se generan, a medio y a largo plazo es lo que podrá dar estabilidad al uso de la biomasa.

En cuanto al potencial, se plantea una pregunta: ¿cuánta biomasa hay? De la que se deriva otra: ¿cuánto se está dispuesto a pagar? Porque dependiendo de esto último se puede acudir a unos cultivos o a otros, en una situación o en otra. Un estudio realizado hace algún tiempo concluía que en caso favorable, puede haber unos 17 millones de tep, de los cuales 5,7 proceden de cultivos. Pero podrían ser más, en función de la situación agronómica y energética.

El Plan de Energías Renovables también tiene un apartado para la parte tecnológica, que explica la baja mecanización, la necesidad de nuevos desarrollos por la mucha mano de obra que puede requerir actualmente (y su coste correspondiente), y la necesidad de ponerlo a disposición de los usuarios, para lo que se requieren estructuras de producción y comerciales.

La transformación energética

Se divide en dos grandes capítulos: las aplicaciones térmicas y las aplicaciones eléctricas.

Las aplicaciones térmicas han avanzado bastante tecnológicamente. En este momento hay en el mercado equipos que permiten mayor facilidad de manejo, mayor eficacia y mayores ventajas medioambientales que los usos tradicionales. Y esto permite pensar en competir con el gasóleo C y con el gas natural en el ámbito urbano.

Respecto a las aplicaciones eléctricas, el producir energía eléctrica mediante la biomasa necesitaría de un ciclo Rankine en bajo rendimiento, puesto que se está hablando de potencias generalmente pequeñas respecto de las centrales convencionales.

Normativa y aspecto económico

En la parte normativa de las aplicaciones térmicas de momento hay una laguna, pues en el RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios) que está actualmente en vigor no aparece la biomasa. Para las aplicaciones eléctricas, la normativa principal es la mencionada anteriormente.

El Plan de Energías Renovables, en su aspecto económico, va analizando una serie de proyectos tipo, para los cuales se establecen unas condiciones, de manera que se analiza la necesidad de ayudas o de primas para conseguir una cierta tasa de rentabilidad.

Hay un proyecto previo al energético, que es una planta de tratamiento que partiría de una biomasa puesta a su disposición a un cierto precio (3 cént/kg). El tratamiento para ponerla a disposición del usuario es de 6 cént/kg. Esto es un proyecto de tipo parcial.

Otro más completo sería su posterior secado y transformación en *pellets*, producto que puede tener cierto interés dentro del sector doméstico para aplicaciones térmicas. El coste típico del *pellet* puede estar en 4 cént/termia, frente al gasóleo que sustituiría en 6 cént/termia. Por lo tanto parece que esta actividad tiene margen como para poder competir en el mercado.

Entrando en aplicaciones térmicas industriales, se plantea un caso típico de una empresa mediana que funciona a dos turnos y que genera por ejemplo agua caliente o aceite térmico; en estas condiciones y pensando que es un residuo propio que, como en la industria de la madera, se valora a 35 €/tonelada en el mercado de tableros, el uso de la biomasa es totalmente rentable, pues no tiene mucho sentido acudir a un componente fósil si se está generando su propio residuo. En este caso no se prevén ayudas.

En relación a las aplicaciones eléctricas, en primer lugar hay que indicar que el Plan de Energías Renovables parece apostar por aplicaciones de pequeña potencia. Para los usos de centrales de producción eléctrica de biomasa se establecen potencias de 5 MW. Son centrales cuyo acopio será relativamente más sencillo que en centrales de 20 ó 30 MW, donde hay un riesgo asociado en cuanto a la captación del recurso.

En cuanto a los cultivos energéticos, el Plan de Energías Renovables marca un elemento diferencial frente al actual 436, puesto que considera un coste del propio combustible ligeramente más alto que los otros. De manera que para unas condiciones de proyecto se añaden condiciones de combustible, que se está valorando en 4,32 cént/kg. Y en consecuencia, pensando en que el apoyo venga sólo por vía prima, es necesario aumentarla: pasar de los 2,9 cént. por kW/h con que se retribuye actualmente, a 5,9 cént. por kW/h.

Para los otros tipos de biomasa, los parámetros del proyecto son similares, pero las condiciones económicas varían. Para las centrales de producción eléctrica con residuos de industrias agrícolas, como el orujillo, o de industrias forestales, se partiría de un precio de 3,15 cént/kg y una prima de 4,4 cént. por kW/h. Para los residuos de industrias forestales, se marca un escalón por debajo y se está pensando que el coste de la compra sea de 1,53 cént., con lo que la prima no variaría.

La co-combustión

En otros países la co-combustión ya lleva un cierto recorrido, y aquí en España se puede potenciar, pues el uso de la biomasa y co-combustión tiene muchas ventajas: las centrales ya están hechas y pueden mezclarlo en pequeñas proporciones con el carbón para aprovechar la biomasa; las inversiones necesarias para hacerlo no son demasiado importantes, por lo menos al principio, si la introducción de la biomasa se hace de forma progresiva en cuanto al porcentaje de la combustión total.

En este caso, el Plan de Energías Renovables deja abierto el tema de la prima. Dependerá de las condiciones de cada central, de los recursos que puedan utilizarse, de la forma en que se vaya a usar, etc. Como consecuencia de las características económicas del proyecto, la prima necesaria será bastante pequeña comparada con las otras.

Medidas

En cuanto a las medidas, el Plan de Energías Renovables establece varios tipos.

Relativo al recurso, existen una serie de trabajos: mejora de la mecanización, contratos tipo, ayudas a la adquisición de maquinaria, etc.

Respecto a la biomasa térmica, hay una parte doméstica en la que se recoge un 30% de ayuda. Esta supone una dotación de 6 millones de euros para este año, que se va a llevar a cabo a través de convenios con las comunidades autónomas, encargadas de gestionar el dinero procedente del ministerio. También en términos de la biomasa doméstica se ha puesto en marcha una modificación del RITE, donde la biomasa ya no es un apartado desconocido, sino que se indica qué es, cómo hay que almacenarla, cómo se fracciona la potencia, qué condiciones de seguridad tiene que cumplir, etc. Así, a la hora de pedir permisos, éstos no estarán sujetos a las interpretaciones de los técnicos sino que haya unos criterios claros. El código técnico también es un elemento importante para la biomasa doméstica, puesto que la energía solar puede ser sustituida total o parcialmente por la biomasa.

En el ámbito eléctrico, la Ley 24/2005, en las centrales sólo de biomasa, desbloquea ese techo del 90% que había en la Ley del Sector Eléctrico. Esto significa que las primas pueden subir a los niveles descritos anteriormente. Y para el caso de la co-combustión se establece que tienen derecho a percibir una prima aquellas centrales de producción eléctrica que, con un régimen ordinario, utilicen biomasa. Las condiciones se establecerán más adelante en función de los consumos y de los sobrecostes que puedan acarrear. Todo ello está en marcha y pendiente del Real Decreto 436.

También hay que señalar que por parte de la Dirección General para la Biodiversidad hay dos iniciativas interesantes: por un lado han terminado unos estudios realizados por Tragsatec de recursos forestales en torno a las 19 centrales de carbón, que ya dan datos y precios; ahora se quiere contrastar dichos precios con unos estudios prácticos: unas pruebas de campo de astillado de montes que se completen con pruebas en centrales de carbón, para ir observando el funcionamiento. Con ese objetivo, está previsto firmar un convenio con Galicia, Asturias y Castilla y León en el que se sacarían de monte y se utilizarían unas 7.000 toneladas.

El Plan de Energías Renovables marca los 5 millones de tep indicados anteriormente; las aplicaciones térmicas suponen un poco más de un 10%, frente a las eléctricas, que tienen más peso. No por ello dejan de interesar las aplicaciones térmicas, por su eficiencia y sus condiciones económicas.

En cuanto a los cultivos energéticos, las superficies que saldrían variarían mucho debido a los requerimientos específicos de cada cultivo.

Respecto a la producción eléctrica, se plantean 1.700 MW, de los que aproximadamente 700 procederían de la co-combustión, y el resto de centrales expresas. Hay una distribución orientativa por recursos y comunidades autónomas.

En cuanto a líneas de innovación, se plantean avances sobre todo en los cultivos energéticos, y también en la maquinaria. Actualmente en España existen iniciativas para el compactado y astillado de la biomasa, pero todavía es necesaria la creación de productos comerciales suficientemente fiables para los consumidores, ya sea para el autoabastecimiento o para el abastecimiento de otros.

En la innovación relativa a la transformación, es importante destacar lo que puede suponer la gasificación, ya no para grandes producciones, sino para pequeñas y dispersas (1 MW o menos), que pueden estar asociadas con una generación del recurso también dispersa. En este sentido, IDAE está participando en dos proyectos de desarrollo tecnológico, uno con Guascor y otro con TAIM.

La parte eléctrica a partir de 2010 supondrá un apoyo de casi 500 millones de €/año con las primas consideradas en el Plan de Energías Renovables.

Como resumen se pueden indicar los aspectos más relevantes:

- Hay un mercado incipiente de la biomasa, basado sobre todo en aplicaciones térmicas (también en las eléctricas, pero éstas están más relacionadas con el autoabastecimiento, mientras que un mercado térmico, sobre todo el doméstico, supone crear una logística).
- La co-combustión: ya se ha modificado la ley; los retos que se presentan son principalmente la mejora de la prima y de las condiciones legales para la doméstica y los mercados energéticos.

Los biocarburantes

La propuesta del Plan de Energías Renovables es cumplir con la Directiva 30/2003, es decir, llegar al 5,75% del consumo del sector transportes en 2010. Se hace una distribución en cuanto al bioetanol y biodiésel: en el caso de biodiésel supondría un

4% de los 30 millones de tep de gasóleos que se consumirán, presumiblemente, en 2010; en el caso del bioetanol, sin embargo, supone un esfuerzo mucho mayor, un 10% de los 7 millones de tep de gasolinas que se consumirán en 2010. En cualquier caso, es un objetivo de carácter indicativo, al que hay que poner medidas:

- **Medidas fiscales:** hoy en día, la Directiva 96/2003 y por tanto, la Ley de Impuestos Especiales, marcan un horizonte que termina en 2012. Los proyectos tienen que durar más allá de dicho año, y por lo tanto, es necesario dar continuidad a ese incentivo fiscal, lo que posiblemente pasará por Bruselas.
- **Medidas agrícolas:** otro reto es el abastecimiento mediante materias primas producidas en España; esto supone un esfuerzo fiscal cuyas ventajas en el ámbito agrícola convendría que se quedaran también dentro de España.
- **Medidas de distribución:** en el caso del etanol y del biodiésel es un tema complicado, sobre todo en lo que se refiere a la distribución de carburantes con más de un 5%.
- **Medidas relacionadas con los vehículos:** actualmente existen fabricantes que no garantizan los vehículos en España, pero sí lo hacen fuera de nuestro país. Esto se debe a la calidad: los biocarburantes deben tener la calidad adecuada en todos los casos. Para vigilar este aspecto ya se están realizando algunas acciones con el APPA.

El Plan de Acción

En diciembre de 2005 se publicó un primer documento sobre el Plan de Acción; en febrero de 2006 su contenido fue comentado por los estados miembros en diversos informes, recogidos por la Comisión en otro documento que sintetiza las contribuciones de los estados. Posteriormente, la Comisión emitió sus conclusiones y un resumen de los documentos anteriores. Por último, se aprobó en Junio el Plan de Acción.

El Plan de Acción incorpora 32 medidas con diferentes apartados. Ocho de estas medidas se refieren a la biomasa, de las cuales dos son para usos eléctricos y seis para usos térmicos. Contiene indicaciones que pueden parecer generales, pero que pueden establecer estrategias y avanzar directivas que se desarrollarán más adelante.

En el ámbito térmico, el Plan de Acción abarca distintos detalles, desde el IVA hasta la Directiva de Edificios.

En relación con la parte eléctrica, habla de potenciar todas las formas de generación de energía eléctrica con biomasa, para introducirlas en la Directiva de producción eléctrica.

El Plan de Acción está bastante orientado hacia los biocarburantes, ya que lleva asociada una estrategia para su desarrollo, cuyo documento se publicó en enero. Por dicha razón, las medidas dedicadas a los biocarburantes son diez.

Como temas horizontales señala en primer lugar los cultivos energéticos y la necesidad de analizar los potenciales, las campañas de difusión precisadas, etc.

En cuanto a líneas de investigación, establece cuatro, que se consideran importantes:

- Plataforma de biocarburantes liderada por la industria.
- Optimización de los cultivos energéticos y los procesos de conversión energética.
- Concepto de “bio-refinería”.
- Biocarburantes de segunda generación.

Para concluir, hay que señalar que los comentarios de España fueron todos positivos. En algunos se puso de relieve las aplicaciones térmicas y la refrigeración (que puede ser un complemento muy bueno para el uso térmico de la biomasa), y la profundización en las ayudas por superficie a los cultivos, para superar los 45 €/hectárea que tienen actualmente los cultivos energéticos. ||

El Plan de Energías Renovables II

ANDRÉS DE LEÓN LLAMAZARES - MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN

Procede comenzar por las características que en España tiene la producción de biomasa, tanto desde el punto de vista de la producción de biomasa en sí, como fuente de calor y energía eléctrica y biogás directamente, como desde el punto de vista de la producción de biocarburantes y sus expectativas de futuro.

A nadie que conozca las características agroclimáticas de la Península Ibérica y concretamente de España, se le oculta que la característica principal de nuestra agroclimatología es, por un lado, el desajuste entre las épocas de lluvia y las de temperatura suficiente para el desarrollo de los productores primarios del ecosistema (vegetales, cultivos). Por otro lado, la escasez de la pluviometría que pasa a determinar la existencia de zonas subdesérticas, áridas, semiáridas, seco-subhúmedas y húmedas, y que las cuatro primeras ocupan más del 85% de nuestra superficie geográfica. Además, y lo que es más importante, se presenta una fuerte variabilidad interanual en la pluviometría que es, con carácter general, el factor más limitante de la producción primaria, y que tiene como consecuencia la enorme importancia histórica del regadío en nuestro país.

A pesar del desarrollo tecnológico que se ha llevado a cabo en las tierras y cultivos de secano (16 millones de hectáreas en números redondos) y la expansión y mejora del regadío (casi 4 millones de hectáreas en números redondos), nuestra agricultura no ha sido capaz de satisfacer la demanda alimentaria interna excepto en frutas y hortalizas, sectores en los que somos exportadores netos.

En términos de cereales, somos importadores netos con un autoabastecimiento del orden del 63%, una dependencia por lo tanto del 37% de las importaciones del exterior, y una variabilidad interanual de la producción que en estos 15 últimos años ha oscilado entre 10 y 24 millones de toneladas, con una media que se sitúa sobre los 20,5 millones de t/año. Evidentemente, la paja que actualmente puede considerarse en la relación 0,8/1,0 con el grano presenta la misma variabilidad. No se hace referencia a otros cultivos menores como las oleaginosas, leguminosas, grano, etc., por

su escasa aportación a la biomasa disponible y la crónica y creciente dependencia externa que observamos de ellas.

En el caso de los sectores de cultivos leñosos tanto extensivos como intensivos, los restos de poda pueden considerarse relativamente constantes campaña tras campaña, mientras que los orujos y subproductos de la utilización del olivar, vid, almendra, cítricos, etc. presentan una variabilidad interanual significativa ligada a la de la producción.

Estos hechos plantean una serie de problemas en la utilización de la biomasa como tal –pajas, subproductos de poda y de transformación, etc.– puesto que es necesario contar con sistemas de preparación, almacenamiento y transformación adecuados para su combustión y su transformación en calor o electricidad (costes e investigación) de forma regular y continua.

No ocurre lo mismo con los subproductos de la producción animal como los purines de cerdo, que sí tienen un mayor grado de continuidad en su disponibilidad y por lo tanto para su tratamiento para biogas o de materia orgánica susceptible de ser sometida a proceso de combustión, pirólisis, etc. para la producción de calor o de electricidad.

Desde el punto de vista de los cultivos agroenergéticos, para la obtención de bioetanol, cereales, remolacha azucarera, patata, etc., las perspectivas no son mucho mejores, ya que, además, somos claramente deficitarios de cereales, y la patata y otros cultivos amiláceos no disponen de una tecnología de producción y aprovechamiento que permita racionalizar el proceso de producción y transformación. Hay además una cuestión muy importante, que es que el sistema alimentario siempre pagará más que el sistema agroenergético salvo que el petróleo se sitúe en valores iguales o superiores a 95 \$/barril, según los expertos, que ya está ocurriendo en 2008.

En lo que respecta a la producción de biodiésel por transesterificación, tenemos un mercado de aceites producidos en España muy limitado, que se reduce prácticamente al de girasol, ya que el de soja también se produce pero a partir de materia prima importada, y el resto de aceites –palma, palmiste, cacahuete, etc.– se importan del mercado internacional. De hecho los Grupos de Trabajo que están evaluando las posibilidades de producción de biocarburantes en España consideran que el bioalcohol con carácter general es indeseable, y que el biodiésel se producirá con la mitad de aceite de palma, un cuarto de aceite de soja producida en España a partir de soja importada, y otro cuarto de colza preferentemente y/o girasol, producido en España si es que el mercado alimentario lo permite.

Resumiendo y como ideas de fuerza para el debate, España puede utilizar la biomasa para la producción agroenergética de una forma limitada a unos supuestos

concretos de producción y consumo, tanto en la utilización de aquella por sí misma para la obtención de calor (calefacción) o electricidad, como para la producción de biocarburantes, como se verá a continuación.

En efecto, carece de posibilidades, salvo que se modifique sustancial y rápidamente la estructura de las explotaciones agrarias, la producción de bioetanol a partir de cereales, contemplando un marco de referencia del petróleo más bajo en precio que el que se ha indicado anteriormente. Además, el bioetanol tiene el problema de su higroscopicidad, que limita su transporte y el mantenimiento de su titulación en las mezclas y en el uso puro. Sin embargo, podría ser una solución como ya lo está siendo su consumo como ETBE si se eliminan las limitaciones que parece haber en las disponibilidades de isobutileno, y en mezcla en alguna flota confinada de transporte y en algún otro aspecto del transporte acotado desde el punto de vista del abastecimiento y la utilización del etanol.

Algo similar ocurre con la producción de aceite para obtener biodiésel, aparte de los aceites usados, puesto que sería el nivel del precio del petróleo el que determinaría la posibilidad de utilizar aceites producidos en el interior de España, como el de colza, girasol, etc. para mezclar con los del palma y soja importados y obtener los correspondientes bioesteres.

El problema puede resumirse en estos dos últimos casos en incremento de la dependencia alimentaria versus el incremento de la dependencia energética, que puede inclinar la balanza en sentido positivo en el cumplimiento de los acuerdos de Kyoto, en relación con la emisión de gases de efecto invernadero (GEI). No parece posible hablar de un Plan Nacional de Producción de Biocarburantes por la magnitud de las superficies agrarias que pueden entrar en él, ya que éstas serán muy limitadas salvo la presión de Kyoto y del coste del petróleo; y en el caso del biodiésel, que es realmente importante, podrán abordar problemas de mayor entidad por su facilidad logística y distribución tanto en el transporte como en cualquier tipo de industria. No presenta problema alguno su logística ni distribución, y su consumo en Europa que es cuatro veces mayor que el de gasolina.

La realidad actual es que con las ayudas de la Política Agrícola Común a los cultivos agroenergéticos y los incentivos fiscales a la producción de biocombustibles no parecen ser suficientes los instrumentos para cambiar la perspectiva antes citada. Esta ayuda es de 45 €/ha para un máximo de 2.000.000 ha para la UE-27, que ya ha sido rebasado en la campaña 2007 y que está previsto que desaparezca en la Revisión Médica de la Reforma de la Política Agrícola Común de 2003, que ha empezado a realizarse en el presente año 2008.

Otro aspecto independiente importante es la investigación o los programas de I+D+i de nuevas plantas adaptadas a nuestras condiciones de cultivo con unos rendimientos

y unas calidades más adecuadas que las de los cereales y oleaginosas, a los que van a sustituir y/o su mejor adaptación a las nuevas estructuras de producción que se espera que aparezcan, como consecuencia de la Política Agrícola Común actual y de los resultados de la Ronda de Doha.

En este momento, y dada la evolución y el alza prevista para los próximos diez años de los precios de los cereales y las oleaginosas a nivel mundial, europeo y español, resulta difícil poder hacer una evaluación definitiva del papel que la biomasa puede jugar en el campo de la producción de biocombustibles de primera generación, ya que ésta presenta serios problemas económicos. No ocurre lo mismo con su utilización para la producción de biocombustibles de segunda generación a corto plazo (5-7 años), que ya no entrarían en conflicto con la agroalimentación y podrían resolver parcialmente el problema de la energía en el transporte y sus efectos medioambientales tal como se contempla en el Acuerdo de Kyoto. También resulta cada vez más claro el interés de la biomasa para la producción de energía calorífica y eléctrica, así como de biogás, aun cuando todo ello dependerá de la evolución del nivel de precio del petróleo y de la relación de cambio del euro y del dólar. ||

La visión del sector productor

ANSELMO GARCÍA MARTÍN - FUNDACIÓN SORIACTIVA

Uno de los grandes problemas de la humanidad es su dependencia de los combustibles fósiles, que además son limitados y provocan un fuerte impacto ambiental. El reto actual pretende que las energías renovables sustituyan, en la medida de lo posible, a esos combustibles.

Se entiende por biomasa la materia que puede obtenerse a través de fotosíntesis. La mayoría de las especies vegetales utilizan la energía solar para crear azúcares del agua y del dióxido de carbono y la almacenan en forma de moléculas de glucosa y almidón, oleaginosas, celulosas y lignocelulosas. La biomasa es un recurso energético interesante por varias razones:

- Es renovable y puede ser desarrollado en el futuro.
- Posee buenas características desde el punto de vista medioambiental, ya que es sumidero de CO₂.
- Reducción del consumo de agua y del impacto por fertilizantes y pesticidas de la agricultura tradicional.
- Puede tener un potencial económico interesante frente al incremento del precio de los combustibles fósiles.
- Es fácil de almacenar, al contrario de lo que ocurre con las energías eólica y solar.

Los cultivos energéticos son cultivos de crecimiento rápido destinados únicamente a la obtención de energía o como materia prima para la obtención de otras sustancias combustibles. Dichos cultivos, que pueden ser la principal fuente de biomasa, tienen grandes posibilidades para el desarrollo local porque buscan principalmente la implicación de los agricultores, y porque ésta es una de las pocas industrias que no se pueden deslocalizar, o cuya deslocalización es más difícil, ya que los cultivos y las industrias transformadoras tienen que estar próximos para no encarecer costos. En el medio rural deben ejercer de palanca para el desarrollo y para tratar de frenar la despoblación que se está produciendo en el mundo rural.

Además, los cultivos energéticos pueden ayudar a conseguir los objetivos contemplados en el Plan de Energías Renovables del Gobierno y los compromisos adquiridos por las comunidades autónomas en estas materias.

Tendencias energéticas

La tendencia en el consumo de energía es cada vez mayor ya que a su demanda le sigue una mejora de calidad de vida y un aumento de población.

El despertar de los países asiáticos como China, India... está originado por un mayor desarrollo económico y, por lo tanto, se prevé que el consumo se dispare, con lo que habrá más demanda y las fuentes de energía actuales serán insuficientes a los precios actuales. Tanto la UE como las administraciones españolas se están dando cuenta de que si no es con cultivos energéticos resultará muy difícil cumplir con el plan de energías renovables.

Según los datos de consumo mundial de energía de 2003, se deduce que hay un aumento en el consumo de petróleo, de gas natural y de carbón, así como de las energías renovables y una disminución de la energía nuclear.

El consumo mundial de energía en 2003 fue de 10.500 millones de toneladas equivalentes de petróleo (tep); pero lo más importante es que el 15% de la población consume el 60% de la energía. Se trata de un hecho irrefutable que hay que empezar a cambiar.

Por dar una visión nacional, en 1990 se consumieron en España 88 millones de tep, y en 2003, 132 millones. Es decir, en poco más de trece años ha aumentado un 50% el consumo.

Actualmente, España importa el 78% de la energía primaria que se consume (el 40% del consumo energético se emplea en el transporte) y más del 80% de la energía es de origen fósil, con los inconvenientes de infraestructuras y precios que eso conlleva, y por lo tanto es necesario cambiar esta tendencia que va en aumento. Si se siguen las políticas actuales, este porcentaje será superior al 85% en 2015 (mientras que la UE se esfuerza en tender al 50%), y nos hará vulnerables a factores geopolíticos y económicos.

Está claro que es necesario ir hacia un desarrollo sostenible, lo que en el terreno energético significa que hay que usar energías renovables: agua, viento, y sobre todo biomasa, porque, además, las energías fósiles son la principal causa de degradación ambiental.

Además, hay otras obligaciones contraídas por España con la UE en el horizonte del 2020; una de ellas es un consumo de energías renovables del 20%, (en el 2005 fue

del 8,7%), una reducción de gases de efecto invernadero del 10% con respecto al 2005 en los sectores difusos (transporte, vivienda, agricultura y residuos), y el ahorro de otro 20% a través del incremento de eficiencia energética.

Con estas restricciones que limitan mucho las opciones posibles, hay que potenciar al máximo las políticas de ahorro, de eficiencia energética y de fomento de las energías renovables. Respecto a las políticas de ahorro y eficiencia energética, es importante seguir buscando que los crecimientos del PIB no requieran crecimientos aún mayores del consumo energético.

Características que deben tener los cultivos energéticos

- **Diferentes de los tradicionales:** ni pueden ni deben competir con los cultivos alimentarios, por lo que hay que buscar otros cultivos. También pueden ser los mismos pero seleccionados con distintos objetivos; se abre campo para la investigación, el desarrollo y, sobre todo, para la mejora genética de algunos cultivos.
- **Rentabilidad económica:** hay pocos cultivos rentables y de nada sirve que la empresa transformadora pague a 0,02 €/kg si le cuesta producir a 0,03 €/kg. Esta rentabilidad no debe venir por las ayudas, sino que los cultivos deben resultar rentables per se; si, además, hay ayudas, bienvenidas sean. Para la estabilidad económica se deben emplear variedades y técnicas, muy distintas a las tradicionales.
- **Balance energético y medioambiental positivo:** la energía que se va a producir con estos cultivos debe superar a la que se ha gastado en producirlos y transformarlos y, por otra parte, las condiciones medioambientales resultantes han de ser mejores que si no se hubieran cultivado o si se hubieran producido otros cultivos.
- **Adaptados a la nueva PAC:** la demanda del consumo de energía está aumentando, y como hay que producir materia seca es necesario tener una idea clara de lo que quiere la UE para encajarlos en la nueva PAC, aunque lo difícil está en saber hacia donde evolucionará la PAC con políticas tan cambiantes.

Factores favorables de los cultivos energéticos

- **Disponibilidad de tierras agrícolas por la aplicación de la PAC:** hay quienes piensan que el desacople de la producción va a provocar tierras que se dejarán de cultivar. Es evidente que con el desacople no se cultivarán las tierras más pobres y menos rentables, pero en estas superficies no es conveniente sembrar cultivos energéticos porque en ellas no serán rentables. Ahora bien, es verdad que los derechos generados en las tierras de regadío y de mejor calidad se pueden aplicar a las de secano y hasta en eriales, lo que liberará las mejores y más rentables, y en éstas sí puede ser interesante sembrar o plantar cultivos herbáceos o leñosos.

- **Apoyos de la PAC (45 €/ha):** no hay perspectivas de incremento a corto plazo, si no más bien todo lo contrario. A pesar de esto hay que poner cultivos que sean rentables sin pensar en la subvención.
- **Necesidad de buscar nuevas fuentes de energía autóctonas.**
- **Necesidad de luchar contra la elevación del CO₂,** responsable del cambio climático y del efecto invernadero y el balance medio ambiental de los cultivos está resultando positivo.
- **Beneficio económico para las zonas deprimidas y despobladas:** lo consideramos un factor favorable, pues la biomasa puede ayudar a generar riqueza y mantener la población de dichas zonas.

Factores desfavorables de los cultivos energéticos

- **No toda la biomasa es rentable:** si su cultivo no es rentable, nadie querrá sembrar o plantar y también es muy difícil obtener, a precios rentables, los residuos forestales. Resulta tanto o más caro que cultivar, y además son limitados.
- **No existe ni oferta ni demanda reguladas:** esto significa que no existe mercado, ni cadenas de suministro. Para que se cree un mercado debemos normalizar la biomasa, y exigir su trazabilidad, como si se tratara del mercado alimentario, ya que adolece de la dificultad de conseguir combustible en cantidad y precio adecuados para asegurar la rentabilidad de las instalaciones.
- **Especulación (o máximo beneficio):** la biomasa se lleva a otros países porque en ellos se paga un mayor precio, lo que hace disminuir el mercado.
- **La biomasa no debe proceder exclusivamente de residuos y subproductos,** porque ni toda es rentable, ni se cumplirá con el PER.

Aplicaciones

- **Aceites vegetales:** a través de cultivos oleaginosos. Para fabricación de carburantes para motores diesel (biodiésel).
- **Bioetanol:** cultivos alcoholígenos. Para la producción de etanol que sustituya parcialmente a la gasolina y aditivos antidetonantes exentos de plomo (ETBE).
- **Biocombustibles sólidos:** cultivos lignocelulósicos. Para usos térmicos y/o eléctricos (cogeneración).

Cultivos para biodiésel

- **Especies tradicionales y nuevos cultivos:** girasol y colza (*brassica napus*).

Soriactiva ha ensayado colza, que no sólo se emplea para obtener biomasa sólida, sino también para biocombustibles líquidos, pues un empleo mixto puede ser lo más rentable.

Cultivos para bioetanol

- Especies tradicionales: cereales grano, maíz, remolacha y caña de azúcar.
- Especies nuevas: patata, sorgo azucarero, chumbera y tabaco silvestre.

Existen otras muchas, pero se nombran las que se consideran más importantes.

Cultivos para combustibles sólidos

- Especies tradicionales: residuos agrícolas herbáceos y residuos forestales. No resultan muy rentables, la paja por su elevado precio durante varios años y los residuos porque son muy difíciles de sacar del monte.
- Especies nuevas:
 - Cultivos leñosos de corta rotación: chopos, paulownia, sauces, acacias, olmo siberiano, retama, tojo, etc.
Soriactiva ha plantado chopos (20.000 pies/ha) y paulownia (1.000-2.000 pies/ha) que son cultivos plurianuales que se podan el primer año para obtener más ramificación y se cortarían cada tres años.
Hay muchas esperanzas puestas en el cultivo del chopo, pues su comportamiento está siendo muy bueno, al contrario que el de la paulownia, que se hiela en zonas frías. El chopo no necesita un gran consumo de agua, dato importante, pues ésta se va a convertir en un bien cada vez más escaso.
 - Especies herbáceas: *brassica carinata*, *brassica napus* (se puede obtener producción mixta de semilla y paja), cardo, caña común y sorgo forrajero. Son todos para combustibles sólidos.

Causas del retraso de los cultivos energéticos

- Escasa rentabilidad del recurso tradicional: si se quiere emplear recursos tradicionales es necesario invertir en su mejora.
- Desconocimiento por parte de agricultores y técnicos: siguen pensando en los cultivos tradicionales.
- Política de subvenciones: las decisiones de los agricultores van dirigidas, como es lógico, a los cultivos más rentables, los tradicionales, y la UE aunque ha pasado de una política de precios a otra de rentas, continúa apoyando la producción y el agricultor trata de maximizar los ingresos.
- Falta de concienciación del sector agrario: existen muchos motivos, como en el caso de la colza, que después de lo que pasó hace años tiene dificultades para sembrarla. Sin embargo, los agricultores reaccionan positivamente cuando se les informa de manera adecuada. Soriactiva no está teniendo problemas para encontrar colaboradores.

- **Escasa inversión en I+D+i en cultivos energéticos.**
- **Falta de interés del sector energético:** mantiene una escasa relación con el sector agrícola, pues tienen otra filosofía y fines. Sin embargo, ambos sectores deberían trabajar conjuntamente.
- **Multipropiedad del recurso.**

Propuestas para el desarrollo de los cultivos energéticos

- **Mejora genética de especies y variedades:** en el caso de la Brassica carinata, se ha tenido que emplear semillas de hace veinte años y así es difícil aumentar la producción. Hoy, con una mejora fenotípica (ya no genotípica), en dos o tres años se puede mejorar un 20% ó 30%. La mejora genética debería estar apoyada por las administraciones para obtener especies con un balance medioambiental y económico positivo y diferentes para regadío y para secano.
- **Tierras de calidad media y alta:** no se deben destinar a cultivos energéticos las tierras de inferior calidad porque si no sirven para otros cultivos tampoco servirán para energéticos.
- **Conocimiento técnico de los cultivos energéticos:** muchos técnicos y agricultores carecen de ellos.
- **Prioridad a los cultivos energéticos anuales:** son fáciles de introducir en la alternativa de la explotación ya que el agricultor dispone del terreno al año siguiente.
- **Campañas de promoción de los cultivos energéticos.**
- **Maquinaria convencional:** es conveniente que los agricultores puedan usar la maquinaria de que disponen, pues si fuera específica, tendrían que hacer una inversión complementaria.
- **Estudio y desarrollo de maquinaria específica:** se recurre a maquinaria extranjera y convendría desarrollar la nacional.
- **Apoyo real del Gobierno y de las comunidades autónomas:** la resolución de la problemática energética es crítica para el desarrollo económico, y requiere que se trate como política de Estado, que defina un marco a largo plazo, estable y previsible para los agentes del mercado.
- **Mejor consideración de los cultivos energéticos en la PAC:** 100 €/ha y, sobre todo, aumento de la superficie de hectáreas con ayudas.
- **Programa Nacional de I+D+i sobre biomasa,** con presupuesto adecuado, participación de empresas y administraciones para la aplicación comercial. Hoy en día, gracias al proyecto PSE Cultivos Energéticos del Ministerio de Educación y Ciencia, se tiene una cierta garantía de continuidad durante ocho años, tanto para empresas productoras como para transformadoras y comercializadoras.
- **Reducir obstáculos legislativos y administrativos, acceso a la red, etc.**
- **Pasar de la comercialización de mezclas con el B.5 al B.10 de biocarburante.**
- **Mismas garantías para los motores de biodiésel.**

- **Miniplantas:** una buena alternativa puede ser hacer miniplantas explotadas por agricultores y transportistas, donde se adapten la producción y el consumo, para que resulte rentable, pero para ello se necesita la colaboración de las administraciones.

De todo lo anterior se deriva que:

Es importante que se diversifiquen al máximo las fuentes de suministro de energía primaria y de generación eléctrica.

- Impulsar nuevos cultivos energéticos.
- No interferir en los mercados de alimentación e industria maderera.
- Dar prioridad a su uso en el transporte.
- Dar prioridad al uso térmico antes que a la producción de electricidad.
- Potenciar instalaciones pequeñas para reducir costes.
- Impulsar los cultivos con utilización de maquinaria agrícola propia del agricultor.
- Impulsar las industrias tecnológicas de utilización de biomasa (calderas y motores) nacionales. ||

CAPÍTULO VII

Actuaciones de la Comunidad de Madrid para el desarrollo de las energías renovables

1. Líneas de subvención y normativa para la biomasa

Autor: Carlos López Jimeno

Titulación: Doctor Ingeniero de Minas

Cargo: Director General de Industria, Energía y Minas

Institución: Comunidad de Madrid

Líneas de subvención y normativa para la biomasa

CARLOS LÓPEZ JIMENO - COMUNIDAD DE MADRID

La realidad energética de la Comunidad de Madrid

La Comunidad de Madrid es una gran consumidora de energía, tal como se muestra en la **|Figura 1|**.

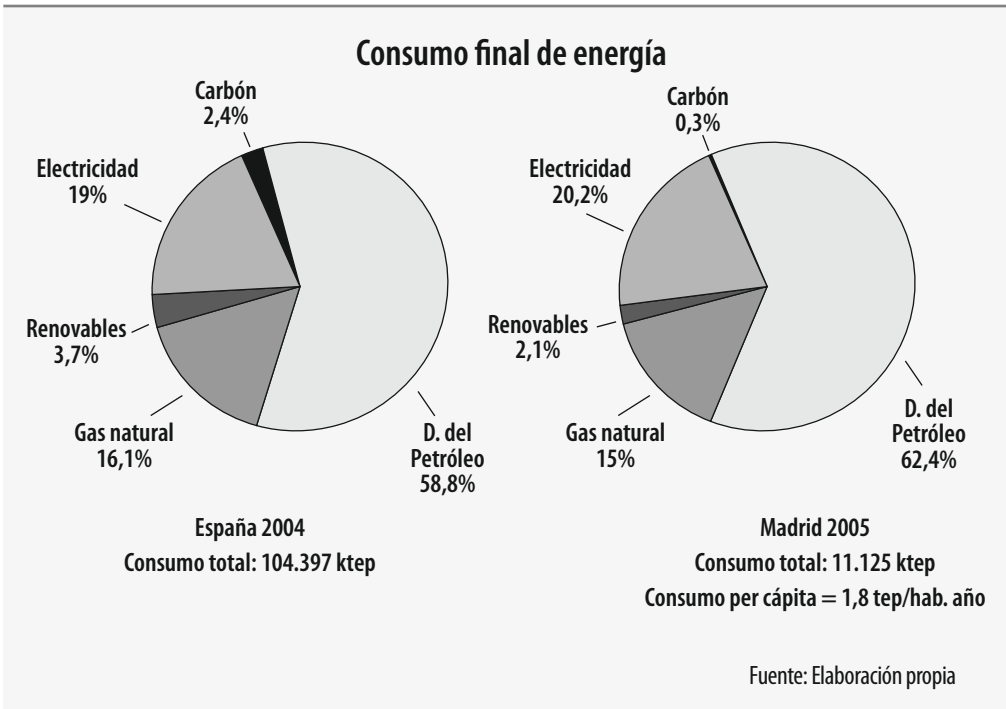
Tanto es así, que los datos más recientes de los que disponemos apuntan a que en el año 2005 nuestro consumo de energía final ascendió nuevamente hasta situarse en el entorno de los 11,125 millones de toneladas equivalentes de petróleo, lo que supone algo más del 10 % del consumo total nacional, en una región que apenas ocupa el 1,6 % del territorio español.

En contraposición con esta abultada cifra, el grado de autoabastecimiento energético de la región es bajo, de aproximadamente el 3 % (tal como se muestra en la **|Figura 2|**). Es decir, la Comunidad de Madrid es una gran consumidora de energía que, al no producirse en nuestro territorio, debe ser “importada” de otras Comunidades Autónomas y de diversos países de nuestro entorno.

Así, a pesar de que la intensidad energética de la Comunidad de Madrid (entendiendo como tal la relación entre la cantidad de energía consumida por unidad de PIB generado) no es excesivamente elevada, debido a que se trata de una región con un alto grado de concentración demográfica y con una escasa presencia de los sectores fabriles más consumidores de energía, su enorme consumo y su escasa capacidad de generación la convierten en un auténtico sumidero de energía.

No obstante, dentro de la escasa energía que producimos, la mayor parte es de origen renovable.

[Figura 1] Consumo energético de la Comunidad de Madrid

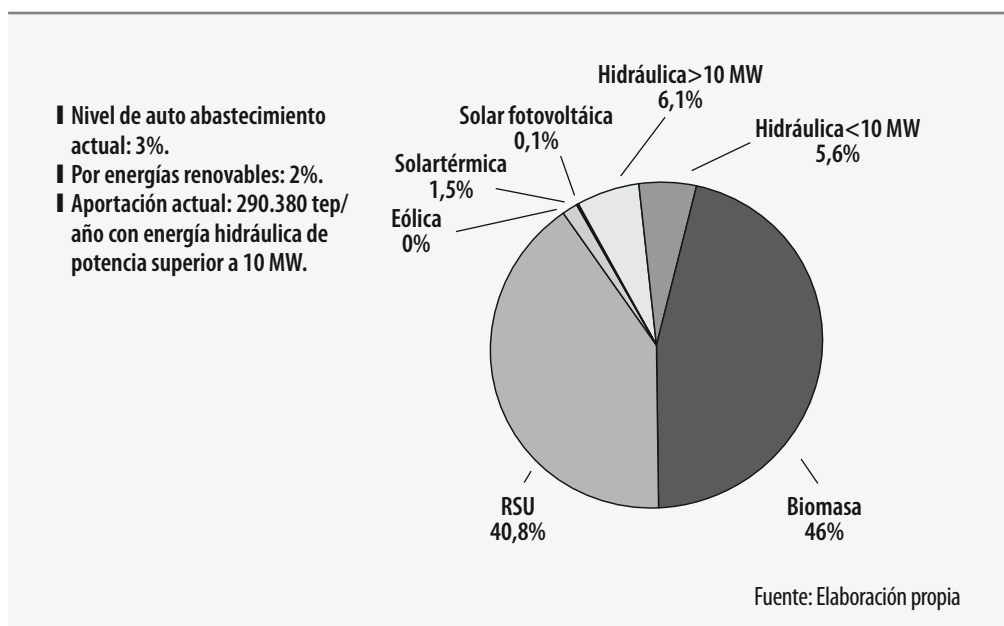


Así, la energía generada a partir de dichas fuentes superó en el año 2005 las 290.000 tep, lo que representó cerca del 2% del consumo total. Entre ellas, destacan especialmente:

- La biomasa (que supone un 46 % de esta cifra).
- El aprovechamiento energético de los residuos sólidos urbanos (que aporta un 40,8 % de la energía generada).
- La energía de origen hidráulico (que contribuye con más de un 11 % a la energía generada).

Por otro lado, el dinamismo de la actividad económica y social de la Comunidad de Madrid está induciendo aumentos de la demanda de energía superiores al 7 % anual, lo cual si se compara con el crecimiento del PIB regional, da lugar a un claro crecimiento de la intensidad energética de la Comunidad, por lo que se hace cada vez más necesario un uso eficiente y responsable de los recursos energéticos. Las previsiones futuras indican que el consumo de energía tenderá a crecer a un ritmo alto hasta alcanzar los 13,6 Mtep en 2012.

Dado este ritmo de crecimiento del consumo energético, la complicada situación energética internacional y los compromisos adquiridos por España en Kioto, resulta

|Figura 2| Energías renovables en la Comunidad de Madrid

imprescindible, además de garantizar el suministro energético de la región, por un lado, impulsar la aplicación de medidas que fomenten el ahorro y la mejora de la eficiencia energética y, por otro, intentar potenciar al máximo nuestros recursos de origen endógeno y, especialmente, los procedentes de fuentes renovables.

Por todo ello, el Gobierno Regional ha diseñado una política energética cuyos fundamentos se encuentran recogidos en el Plan Energético de la Comunidad de Madrid 2004-2012, elaborado por técnicos de la Universidad Politécnica de Madrid. Dicho Plan fija los grandes ejes en los que se han de encuadrar las actuaciones en materia energética para los próximos años, siendo éstos los siguientes:

- Fomentar la energía generada por fuentes renovables y respetuosas con el medio ambiente.
- Mejorar la eficiencia de uso de los productos energéticos, propiciando el ahorro en su empleo mediante la propuesta de medidas, tanto de carácter horizontal, como de incidencia directa sectorial.
- Adecuar la oferta de productos energéticos a la cobertura de necesidades, mejorando la fiabilidad y las infraestructuras del suministro de electricidad, gas e hidrocarburos.
- Minimizar el impacto ambiental de nuestro consumo energético, contribuyendo a la reducción de las emisiones de CO₂ energético.

Siempre que sale a la palestra el tema del déficit energético, hay una gran parte de la sociedad que pretende centrarlos en el desarrollo de medidas destinadas a fomentar

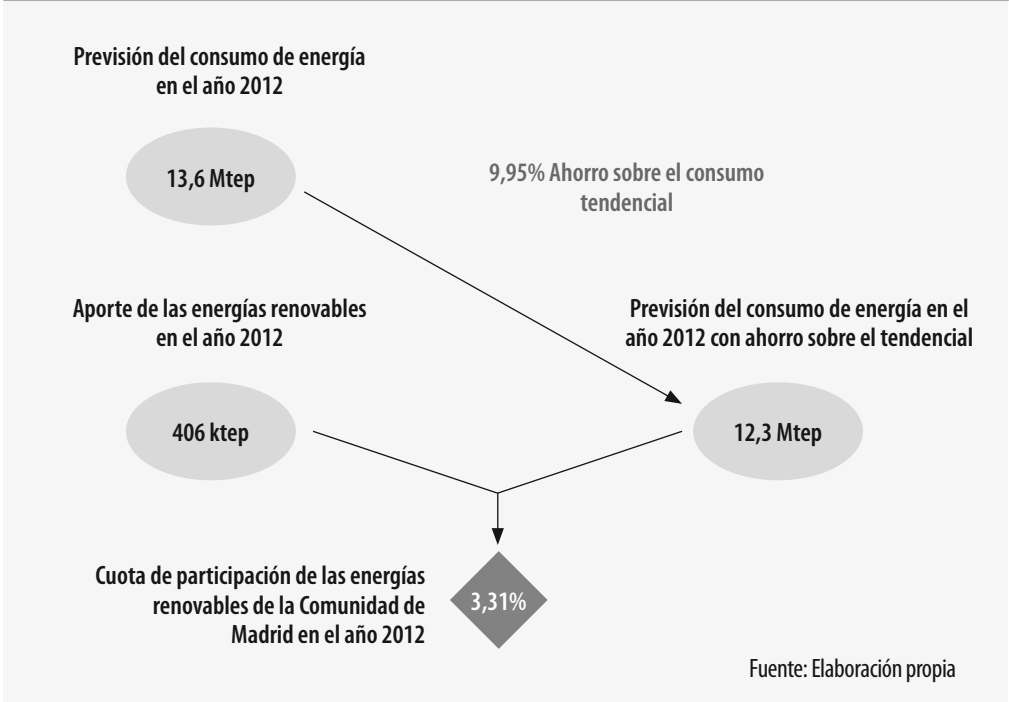
las energías renovables. Es decir, sigamos consumiendo energía, pero que ésta provenga de fuentes renovables.

No obstante, las energías renovables no pueden, hoy por hoy, sustituir completamente a las energías tradicionales. Por mucho que nos gustaría poder afirmar lo contrario, el grado de desarrollo de las diferentes tecnologías y el bajo nivel de disponibilidad que presentan muchas de ellas, haciendo depender el suministro de energía de factores climáticos como la existencia del viento o la presencia del Sol, hacen que, por mucha voluntad que las Administraciones Públicas pongan en su desarrollo, resulte imposible que éstas solucionen, por sí solas, el problema energético que se presenta.

Además de apoyar el avance de las energías renovables, es necesario orientar otra parte del esfuerzo público a impulsar la aplicación de medidas que fomenten el ahorro y la mejora de la eficiencia energética. Por ello, el Plan Energético de la Comunidad de Madrid establece las líneas de actuación que deben seguirse en ambos campos, marcando claramente los objetivos a conseguir para cada uno de ellos al final del periodo, tal como se muestra en la **[Figura 3]**.

El reto previsto sobre el consumo energético es reducirlo en un 10 % en el 2012 respecto del escenario tendencial. Mientras que el Plan busca duplicar la energía

[Figura 3] Objetivos del Plan Energético de la Comunidad de Madrid en 2012



generada anualmente por energías renovables, sobrepasando las 406.000 tep/año al final del Plan.

Centrándonos en el campo de las energías renovables, hay que resaltar que los ámbitos en los que se espera conseguir mayores resultados son los de la energía solar, la energía eólica, la biomasa y la energía procedente de los residuos sólidos y lodos de depuradora, tal como se muestra en la **[Figura 4]**.

- En el ámbito de la energía solar térmica se plantea el objetivo de alcanzar 400.000 m² de paneles de baja temperatura para 2012, frente a poco más de 58.000 m² existentes actualmente. Esto representará pasar de una producción cercana a 3.000 tep anuales en 2004 a 20.000 tep anuales en 2012, multiplicando por 8 la superficie de paneles.
- Por otra parte, en energía solar termoeléctrica, se ha previsto la realización de un proyecto emblemático de alta temperatura, con una potencia nominal en el rango 10-20 MWe, cuya producción anual oscilaría entre 20 y 30 GWh.
- A estas dos se une, además, la energía solar fotovoltaica, en la que se preveía multiplicar por 5 la potencia instalada en 2004, es decir, superar los 20 MWp en 2012 pero para la cual los datos actuales (más de 6'5 MWp instalados) y los previstos para finales de este año, nos indican que se están superando las previsiones más optimistas del Plan.

[Figura 4] Impulso de las energías renovables

Objetivo

■ Fomentar especialmente, el desarrollo de la energía solar.

■ Ampliar en más de un 50% la contribución de los residuos.

■ Alcanzar con otras fuentes renovables los 400 GWh/año.

■ Total: más de 1.100 GWh/año.

Fuente	2003		2012	
	E. anual	(ktep)	E. anual	(ktep)
Biocarburantes	0	0	60 ktep	60
Biomasa eléctrica	0	0	30 GWh	10
Biomasa térmica	93,5 ktep	93,5	120 ktep	120
Eólica	0	0	400 GWh	35
Hidráulica	275	23,7	280 GWh	24
Residuos (RSU+Biogás)	345 GWh	83	500 GWh	128
Solar Fotovoltaica	38GWh	0,3	30 GWh	2,6
Solar térmica de baja temperatura	3 ktep	3	20 ktep	20
Solar térmica eléctrica	0	0	25 GWh	6,4
Total	-	203,5	-	406

Fuente: Elaboración propia

Fuente: Elaboración propia

- Por lo que concierne a la energía eólica, se considera que ésta podría ser la de expansión masiva más inmediata ya que, aunque nuestra región no presenta vientos pronunciados y singulares, tiene un potencial apreciable. Tanto es así, que en el horizonte del Plan se podrían llegar a instalar 200 MW, con una producción de energía eléctrica que alcanzaría los 35.000 tep anuales.
- Por otro lado, mediante la explotación de los residuos sólidos urbanos y de los lodos de depuradoras, en el plazo del Plan se prevé aumentar entre un 50% y 80% la potencia actual instalada de 80 MW, lo que representaría entre 40 y 65 MW de nueva planta. En caso de cumplirse este pronóstico, se pasará de una generación actual de 83.000 tep anuales a 128.000 tep anuales al término del Plan.

Pero una vez mencionado el marco general en el que deberían moverse las energías renovables en la Comunidad de Madrid durante los próximos años, centrémonos en la biomasa.

Se ha de destacar que el potencial de la biomasa en nuestra región está relacionado con la superficie agrícola disponible, por lo que son las comarcas del sur de la Comunidad las que presentan el mayor potencial de desarrollo de aplicaciones de biomasa.

Por ello, el Plan Energético propone la materialización de un programa integrado de Investigación y Desarrollo Tecnológico (I+DT) que aborde las tres ramas principales de explotación: el uso térmico directo, los biocarburantes y la agroelectricidad.

Para ello, se prevé como primer paso la ejecución de varios proyectos piloto, como son:

- Un proyecto de producción y utilización energética de biomasa peletizada en el municipio de Villanueva de la Cañada, instalando una planta peletizadora complementaria a la planta de compostaje ya existente, que aprovecharía los rechazos leñosos de ésta. Ello representaría una capacidad de producción de unos 1.000 kg/h, con una producción anual de unas 2.000 t/año.
- Varios proyectos de demostración de calefacción residencial y de servicios, así como de invernaderos, a realizar en entidades municipales y de I+D.
- La realización de estudios de viabilidad para la instalación de plantas de producción de biodiesel y bioetanol a partir de cultivos oleaginosos y alcoholígenos potencialmente producibles en la Comunidad de Madrid.
- Estudios de viabilidad de gasificadores de biomasa de baja potencia unitaria; y, por último.
- La realización de los anteproyectos de las tres centrales potenciales de agroelectricidad que se estima podrían operar en nuestra comunidad a partir de cultivos energéticos y cuya potencia total instalable estaría en el margen de los 40 MW.

Por otro lado, la producción de biocarburantes (bioetanol y biodiesel) en la Comunidad de Madrid es incipiente en estos momentos, contándose con la planta de biodiésel en Alcalá de Henares cuya capacidad de producción anual es de 5.000 toneladas.

Aunque en esta instalación inicialmente sólo está contemplada la utilización de aceites usados como materia prima, sería aconsejable la utilización de aceites vegetales producidos mediante cultivos específicos (cardo o girasol) para complementar las necesidades de materia prima, con lo que se podrían llegar a fabricar 4 ktep/año de biodiesel. Sin embargo la viabilidad y explotación de esta planta está actualmente en compás de espera, mientras se resuelve el concurso público de enajenación de dicha planta por parte del IDAE.

Por su parte, el potencial máximo de producción de bioetanol con cultivos alcohólicos de la Comunidad de Madrid se ha evaluado en algo más de 100.000 m³ anuales, es decir unos 56 ktep/año, siendo la zona más adecuada para la posible construcción de una planta de aprovechamiento de esta materia la Comarca de las Vegas.

Al margen de lo anterior, se ha de considerar el fomento de la utilización de biocarburantes en vehículos. Para ello se impulsará su uso en flotas de suministro centralizado que permitan la adquisición de la experiencia tecnológica necesaria para un adecuado despegue de estos combustibles alternativos.

Desde el punto de vista económico, el Plan propone destinar aproximadamente 500.000 € a la ejecución de los estudios de viabilidad y proyectos piloto antes mencionados, 4 M€ en subvenciones a la biomasa térmica para elevar su uso desde los 93,5 ktep/año actuales a 120 ktep/año al final del Plan y 8 M€ de ayudas al fomento de los biocarburantes para la producción de 60 ktep/año al final del Plan.

Por último, en cuanto a la producción de electricidad a partir de biomasa, el Plan propone impulsar la construcción de una central de 10 MW de potencia eléctrica, cuya generación ascendería a unos 30 GWh/año, a través de una subvención de 5 M€ de la inversión total necesaria, que ascendería a 15 M€.

Las actuaciones que se están desarrollando en el ámbito de la biomasa doméstica y sus aplicaciones térmicas.

Al plantear cómo fomentar estas aplicaciones domésticas, se ha llegado a la conclusión que se deben concentrar las acciones en tres frentes: la adecuación de la normativa aplicable a las instalaciones térmicas, la difusión entre los ciudadanos de esta tecnología y las ayudas públicas al desarrollo de proyectos concretos.

Respecto al primer problema, es decir, el encaje adecuado de las instalaciones de biomasa doméstica en las normativa vigente, actualmente configurada a nivel nacional

por el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios, más conocido como RITE, presenta diversos problemas. Dicho Reglamento abre la puerta al uso de la biomasa como fuente de energía en las instalaciones térmicas de los edificios, sin embargo, no establece las condiciones técnicas que debe cumplirse en la instalación de este tipo de combustibles, lo que ha llevado al absurdo de que las mismas no pueden legalizarse en base a dicha disposición.

En consecuencia, desde la Dirección General de Industria, Energía y Minas se ultima una Instrucción Técnica, que regule las medidas mínimas de calidad y seguridad que se deben atender en la ejecución de estas instalaciones y las condiciones que garanticen el adecuado mantenimiento de las mismas, todo ello con el objetivo de que las instalaciones de biomasa domésticas no se encuentren fuera de la legalidad y poder hacer uso de las mismas en la Comunidad de Madrid.

El segundo frente en el que se trabaja es el relativo a la concienciación ciudadana, es decir, se debe informar y explicar a los madrileños la existencia de este tipo de energía y las posibles aplicaciones de la misma en sus sistemas de calefacción. Por ello, se está elaborando una sencilla Guía Práctica sobre los sistemas de calefacción con biomasa en edificios y viviendas. Dicha Guía, será la segunda que se edita referida a energías renovables, después de la Guía de la Energía Solar.

Dicha Guía analiza las posibilidades de utilización de la biomasa sólida como fuente de energía térmica. Así, se muestran las principales características de los modernos y totalmente automatizados sistemas de calefacción por biomasa que pueden ser instalados en edificios y viviendas; su viabilidad económica y modos de financiación, así como, los beneficios medioambientales que se obtienen mediante su utilización. También se muestran ejemplos de estas instalaciones de calefacción que ya se han desarrollado con éxito en España, y casos específicos en la Comunidad de Madrid.

Finalmente, con dicha Guía se quiere informar de un modo práctico a los propietarios o gestores de edificios y viviendas acerca de los beneficios de la generación de calefacción a través de la biomasa, para impulsar su utilización por nuevos usuarios en la Comunidad de Madrid. Así mismo, creemos que conocer estas tecnologías puede favorecer el desarrollo de empresas instaladoras, fabricantes, y suministradores de calderas y biocombustibles para este sector.

El último punto es el referente a las ayudas públicas para energías renovables que otorga la Comunidad de Madrid.

En la vigente Orden 86/2006, cuyo presupuesto asciende a 2 millones de Euros y que abarca el ejercicio 2006, se ha mantenido únicamente el programa de subvenciones de energías renovables para Ayuntamientos, entidades públicas,

instituciones sin ánimo de lucro, comunidades de propietarios y personas físicas, con la excepción, en este último caso, de las instalaciones solares fotovoltaicas conectadas a la red.

En dicha Orden se incluyen como actuaciones subvencionables cualquier aplicación para la utilización energética de la biomasa, residuos y producción de combustibles, con la excepción de las estufas domésticas, es decir, aquellos equipos que proporcionan calor directo en el lugar donde se instalan, que utilicen como combustible pellets o productos similares, ascendiendo la cuantía de la ayuda al 30 % de la inversión subvencionable.

A su vez, se continua ayudando a las empresas en sus proyectos de I+D sobre energías renovables de todo tipo, y a la realización de estudios y actividades divulgativas y de promoción que realicen tanto las Corporaciones locales como instituciones sin ánimo de lucro.

A esto hay que añadir que el procedimiento de concesión de dichas ayudas es el de concurrencia competitiva, de manera que en el presente ejercicio se logrará subvencionar a los mejores proyectos.

También, se ha lanzado este año una línea de apoyo financiero (con un presupuesto de 1,4 millones de €), que se dirigirá a las inversiones en proyectos de aprovechamiento de energías renovables promovidos por empresas y particulares, gestionada a través de Avalmadrid y con la que se cubren dos puntos del tipo de interés de las operaciones financieras que se suscriban para acometer estos proyectos.

La propia Comunidad de Madrid va a acometer distintos proyectos de aprovechamiento de biomasa. Así, Gedesma, entidad encargada de la gestión de las plantas de tratamiento de residuos, tiene prevista la construcción de una nueva planta de aprovechamiento de los gases de escape, de 1 MW, en su Planta de Biometanización y Compostaje de Pinto, y tiene en estudio la construcción de una instalación de generación eléctrica a partir de biomasa en Villanueva de la Cañada, que significará una potencia eléctrica instalada de 1,3 MW.

A su vez, el Canal de Isabel II tiene previsto invertir, en los dos próximos años, cerca de 2,3 millones de Euros en el aprovechamiento de biogas en sus Estaciones de Depuración de Aguas Residuales de Alcalá de Henares, San Sebastián de los Reyes y Villalba.

El proyecto del nuevo parque de bomberos de Navacerrada, diseñado con criterios sostenibles y que va a estar dotado de una instalación solar térmica para el agua caliente sanitaria, una caldera de biomasa para la calefacción y se instalarán paneles fotovoltaicos en las marquesinas del aparcamiento.

La suma de todas estas actuaciones, que abordan el problema de la biomasa desde todos los frentes posibles, va a permitir alcanzar e incluso superar las cifras que se han fijado en el Plan Energético de la Comunidad de Madrid pero, no obstante, la Administración regional continuará trabajando en esta línea para lograr incrementar, día a día, la presencia de la misma en nuestra región. ||

BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía

Capítulo I

- I Fernández, J. (2004). *Energía de la biomasa*. Capítulo XII del libro “La energía en sus claves”, pp. 395-445. Editado por la Fundación Iberdrola. ISBN 84-609-1337-6.
- I Orden PRE/472/2004, de 24 de febrero, por la que se crea la Comisión Interministerial para el Aprovechamiento Energético de la Biomasa.
- I *Plan de Fomento de las Energías Renovables 2000-2010*. IDAE.
- I *Plan de Energías Renovables 2005-2010* (PER 2005). IDAE.
- I COM 2005-628. Plan de Acción Sobre la Biomasa de la UE.

Páginas web

- I ADABE: Asociación para la Difusión de las Aplicaciones de la Biomasa. <http://www.adabe.net>
- I APPA: Asociación de Productores de Energías Renovables. <http://www.appa.es>
- I IDAE: Instituto de Diversificación y Ahorro de la Energía. <http://www.idae.es>
- I Revista *Energías Renovables*. <http://www.energias-renovables.com>
- I Revista *Biocarburantes*. <http://biocarburante.com>
- I Biodiésel en España. <http://biodieselspain.com>

- AOP: Asociación Española de Operadores de Productos Petrolíferos.
<http://www.aop.es>
- Club Español de la Energía. <http://www.enerclub.es>
- Plataforma Europea de Biocarburantes. <http://www.biofuelstp.eu>
- Portal de Energías Renovables del CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas y Medioambientales de España). <http://www.energiasrenovables.ciemat.es/>
- Estadísticas Europeas. Sección Energía.
http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page?_pageid=1090,30070682,1090_33076576&_dad=portal&_schema=PORTAL
- IEA: Agencia Internacional de la Energía. <http://www.iea.org>
- Programa de Biomasa del Departamento de Energía de Estados Unidos.
<http://www1.eere.energy.gov/biomass/>
- EUBIA: European Biomass Industry Association. <http://www.eubia.org/>
- Biodiésel en Europa: European Biodiesel Board. <http://www.ebb-eu.org/>

Capítulo II

- ASTM D 6751 03. Norma para EE UU que establece la calidad de la producción de biodiésel así como medidas de seguridad de la planta.
- DIN EN 14214. Norma para la UE que regula la producción de biodiésel.
- PER 2005. Plan de energías renovables 2005-2010.
- Orden PRE/472/2004, de 24 de febrero, por la que se crea la Comisión Interministerial para el aprovechamiento energético de la biomasa.
- Directiva 2003/96/CE del Consejo, de 27 de octubre de 2003, por la que se reestructura el marco comunitario de imposición de los productos energéticos y de la electricidad.
- Libro Verde de la UE (2001).
- Plan de Fomento de las Energías Renovables 2000-2010.

- Directiva 2001/77/CE de promoción de la electricidad generada a partir de fuentes de energía renovable.
- Directiva 2001/80/CE sobre limitación de emisiones a la atmósfera de agentes contaminantes.
- Sánchez, J.L., *Spain Country Report*, (GASNET) Red Thermonet (UE), Septiembre 2003.
- Arauzo J., Sánchez, J.L., Bilbao. R., *IntecUrbe*, 74, 18-23, (2002).
- Arauzo, J., Gómez, J., Sánchez J.L., *Oil Gas*, 390, 65-69, (2001).
- Arauzo, J., *Oil Gas*, 386, 84-89, (2000).
- Arauzo, J., Bilbao, R., Millera, A., Ferreiro L.J., *Actas de la 7ª Conferencia sobre Planificación, Ahorro y Alternativas Energéticas, Zaragoza*, 623, (1987).
- Bilbao, R., Fernández, F., *Ingeniería química* 19, (219), 127, (1987).
- Bilbao, R., Fernández, F., *Ingeniería química* 20, (226), 199, (1988).
- Bilbao, R., García, P., Rodrigo, R., Logroño, A.C., Arauzo, J. *Ingeniería química* 22, (254), 231-235, (1990).
- Bilbao, R., Lana, J., García, P., Arauzo, J. *Pyrolysis and Gasification*, 613-617, Elsevier Applied Science, London (1990).
- Fernández F., Bilbao R., García P., *Actas de la 6ª Conferencia sobre Planificación, Ahorro y Alternativas Energéticas, Zaragoza*, 95, (1986).
- García-Bacaicoa, P., Bilbao, R., Arauzo, J., Salvador, M.L.. *Bioresource Technology*, 48 (3), 229-235, (1994).

Capítulo III

- RD 436/2004, por el que se regula la producción de energía eléctrica en régimen especial.
- PER 2005. Plan de Energías Renovables 2005-2010.
- Orden PRE/472/2004, de 24 de febrero, por la que se crea la Comisión Interministerial para el aprovechamiento energético de la biomasa.

- Directiva 2003/96/CE del Consejo, de 27 de octubre de 2003, por la que se reestructura el marco comunitario de imposición de los productos energéticos y de la electricidad.
- Libro Verde de la UE (2001).
- Plan de Fomento de las Energías Renovables 2000-2010.
- COM 2005-628. Plan de Acción sobre la Biomasa de la UE.
- COM 2006-34. Modificación de la Directiva 91/414/CEE del Consejo a fin de incluir en ella las sustancias activas etoxazol y tepraloxidim.

Capítulo IV

- BP *Statistical Review of World Energy* 2002.
- BP *Statistical Review of World Energy* 2004.
- Libro Blanco *La política europea de transportes de cara al 2010: la hora de la verdad*. ISBN 92-894-0337-3. Comisión Europea.
- Norma de calidad del gasóleo EN-590.
- Norma de calidad CEN EN 228.
- Directiva 2003/30/CE, de fomento de biocarburantes en el transporte.
- Directiva 2003/17/CE, de calidad de la gasolina y el gasóleo.
- RD 61/2006, de 31 de enero, por el que se fijan las especificaciones de gasolinas, gasóleos, fuel-óleos y gases licuados del petróleo, y se regula el uso de determinados biocarburantes.
- ASTM D 6751 03. Norma para EE UU que establece la calidad de la producción de biodiésel, así como medidas de seguridad de la planta.
- DIN EN 14214. Norma para la UE que regula la producción de biodiésel.
- RD1700/2003, de 15 de diciembre, donde se fijan las especificaciones de gasolinas, gasóleos, fuel-óleos, gases licuados del petróleo y el uso de biocarburantes.

- Directiva 2003/96/CE del Consejo, de 27 de octubre de 2003, por la que se reestructura el marco comunitario de imposición de los productos energéticos y de la electricidad.
- Directiva 2003/30/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 8 de mayo de 2003, relativa al fomento del uso de biocarburantes u otros combustibles renovables en el transporte.
- Informe *Biofuels For Transport*, April 2004, AIE.
- COM 2006-34. Modificación de la Directiva 91/414/CEE del Consejo a fin de incluir en ella las sustancias activas etoxazol y tepraloxidim.

Capítulo V

- BP *Statistical Review of World Energy* 2004.
- Norma de calidad del gasóleo EN-590.
- Norma de calidad CEN EN 228.
- Directiva 2003/30/CE, de fomento de biocarburantes en el transporte.
- Directiva 2003/17/CE, de calidad de la gasolina y el gasóleo.
- RD 61/2006, de 31 de enero, por el que se fijan las especificaciones de gasolinas, gasóleos, fuel-óleos y gases licuados del petróleo y se regula el uso de determinados biocarburantes.
- ASTM D 6751 03. Norma para EE UU que establece la calidad de la producción de biodiésel así como medidas de seguridad de la planta.
- DIN EN 14214. Norma para la UE que regula la producción de biodiésel.
- RD1700/2003, de 15 de diciembre, donde se fijan las especificaciones de gasolinas, gasóleos, fuel-óleos, gases licuados del petróleo y el uso de biocarburantes.
- Directiva 2003/96/CE del Consejo, de 27 de octubre de 2003, por la que se reestructura el marco comunitario de imposición de los productos energéticos y de la electricidad.
- Directiva 2003/30/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 8 de mayo de 2003, relativa al fomento del uso de biocarburantes u otros combustibles renovables en el transporte.

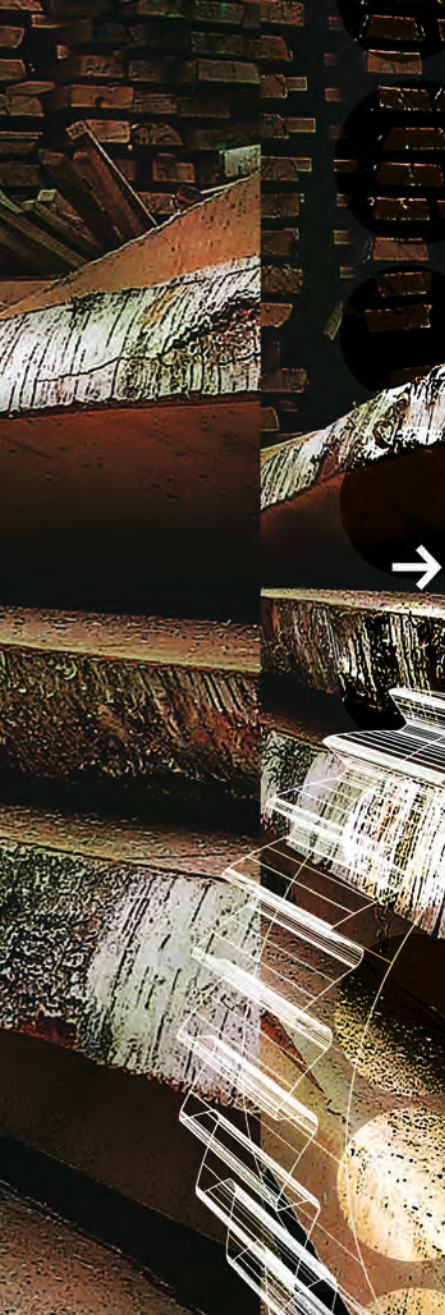
- Informe *Biofuels For Transport*, April 2004, AIE.
- COM 2006-34. Modificación de la Directiva 91/414/CEE del Consejo, a fin de incluir en ella las sustancias activas etoxazol y tepraloxidim.

Capítulo VI

- PER 2005, Plan de Energías Renovables 2005-2010.
- Libro Verde de la UE, 2001.
- Plan de Fomento de las Energías Renovables 2000-2010.

Capítulo VII

- PER 2005, Plan de Energías Renovables 2005-2010.
- Libro Verde de la UE, 2001.
- Plan de Fomento de las Energías Renovables 2000-2010.
- Orden 86/2006 de la Comunidad de Madrid, donde se regulan las ayudas públicas a las energías renovables.
- Instrucción Técnica de la Dirección General de Industria, Energía y Minas, que regula las medidas mínimas de calidad y seguridad que se deben atender en la ejecución de las instalaciones de biomasa domésticas.



Desde la Asociación de Ingenieros del ICAI se lleva trabajando varios años en la publicación de monografías, incluidas en la colección **Avances en Ingeniería**, que contribuyan a diseminar los avances que en diversos terrenos de la Ingeniería se vienen produciendo, ayudando así a la formación permanente de profesionales que de esta manera se mantienen al día en la vanguardia tecnológica.

La Cátedra Rafael Mariño de Nuevas Tecnologías Energéticas de la Universidad Pontificia Comillas tiene la vocación de servir al debate y la reflexión acerca del problema de las fuentes de energía, el abastecimiento energético y su sostenibilidad en el medio y largo plazo. Esto, junto con la contribución que a la resolución de estos problemas brindan las Nuevas Tecnologías Energéticas, reduciendo las emisiones inherentes a las transformaciones energéticas e incrementando la eficiencia de tales transformaciones, redundando así en un menor consumo de recursos. Así, la creación de una serie de monografías desarrolladas a partir de la Jornada Anual que desarrolla la Cátedra ofrece un material de excepcional importancia para tener una visión del estado del arte de las tecnologías energéticas más relevantes del momento, como punto de partida para el debate y la reflexión.

Este volumen, **Biomasa: Estado actual y perspectiva inmediata** es el quinto de la serie **Análisis de situación y perspectiva de nuevas tecnologías energéticas**, que pretende ser una de las respuestas que tanto desde la Cátedra Rafael Mariño de Nuevas Tecnologías Energéticas, como desde la Asociación de Ingenieros del ICAI, se plantean a la problemática descrita.

Edita:



Asociación Nacional
de Ingenieros del ICAI

