

**Las alternativas al petróleo  
como combustible para vehículos  
automóviles**

**José Antonio Bueno Oliveros**

Documento de trabajo 106/2007



## José Antonio Bueno Oliveros

Socio de Europraxis Consulting, división de consultoría estratégica del Grupo Indra. Responsable global para las prácticas de automoción y operaciones. Miembro del Comité de Dirección de la firma. Licenciado en Ingeniería Industrial, ha desarrollado toda su carrera profesional en el mundo de la consultoría. Ha desarrollado proyectos en varias áreas de actividad, en especial en automoción, entre otros países, en México, Argentina, Brasil, Japón, Italia, Francia y Alemania, además de en España. Entre sus publicaciones destacan dos trabajos previos para este Laboratorio de Alternativas: 35/2003. El Sector del Automóvil en la España de 2010; y 84/2006. I+D+i: selección de experiencias con (relativo) éxito, así como la Diagnósis del sector de l'Automóbil de Catalunya para el Col.legi d'Enginyers Industrials de Catalunya, el estudio Catalunya Automoció para la Sociedad de Técnicos de Automoción (STA) y Caracterizació de la Recerca a Catalunya para el CIDEM de la Generalitat de Catalunya. Asimismo ha realizado varios planes estratégicos para el desarrollo del sector de la automoción para varias comunidades autónomas y ha contribuido a la creación y consolidación de varios *clusters* sectoriales. Colabora periódicamente con los más relevantes medios de comunicación nacionales en temas relacionados con el automóvil y la deslocalización industrial en general.

Ninguna parte ni la totalidad de este documento puede ser reproducida, grabada o transmitida en forma alguna ni por cualquier procedimiento, ya sea electrónico, mecánico, reprográfico, magnético o cualquier otro, sin autorización previa y por escrito de la Fundación Alternativas

© Fundación Alternativas

© José Antonio Bueno Oliveros

ISBN: 978-84-96653-45-0

Depósito Legal: M-15798-2007

## Contenido

<b>Resumen ejecutivo</b> .....	<b>5</b>
<b>Sinopsis del trabajo</b> .....	<b>7</b>
<b>1. El futuro del petróleo como combustible para vehículos automóviles</b> .....	<b>9</b>
1.1 Evolución de los precios del petróleo .....	11
1.2 Agotamiento de las reservas de petróleo .....	13
<b>2. El Protocolo de Kioto</b> .....	<b>20</b>
<b>3. Biocarburantes</b> .....	<b>26</b>
3.1 Producción de biodiésel .....	29
3.2 Producción de bioetanol .....	31
3.3 Capacidad de producción de biocombustibles en España .....	34
3.4 Efectos medioambientales .....	36
<b>4. Pila de combustible</b> .....	<b>38</b>
<b>5. Coches híbridos y otras alternativas posibles</b> .....	<b>45</b>
<b>6. Normativa europea</b> .....	<b>59</b>
<b>7. Conclusión: las propuestas concretas</b> .....	<b>63</b>
<b>Índice de Tablas y Gráficos</b> .....	<b>71</b>

### Siglas y abreviaturas

ACEA	Asociación de Fabricantes Europeos de Automóviles (siglas en francés)
ACV	Análisis de Ciclo de Vida
CO	Monóxido de carbono
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono. Gas presente en la atmósfera cuya concentración excesiva producida por la actividad humana se considera como uno de los principales causantes del efecto invernadero
CP	Proteína de Crudo
DDGS18	Subproducto de la producción de bioetanol que se utiliza para el mercado de piensos animales por su riqueza en proteínas y valor energético
E85	Combustible estandarizado como mezcla de 85% de etanol y 15% de gasolina
ETBE	Etil ter-butil éter. Aditivo de la gasolina para aumentar su octanaje. La versión “bio” consiste en la mezcla de bioetanol (45% volumen) e isobutileno
FFV	<i>Flexible Fuel Vehicles</i> . Vehículos preparados para usar varios tipos de combustibles, normalmente gasolina, bioetanol y E85
FT Diésel	Fischer-Tropsch Diésel. Combustible sintético producido por la conversión de gas natural en un tipo de diésel con alto índice de cetano y que produce cero emisiones de azufre
GEI	Gases efecto invernadero
GLP	Gas licuado presurizado
GTL	<i>Gas to Liquid</i> . Combustible sintético que produce emisiones similares a las del gas natural comprimido (GNC). No libera azufre, es inodoro y se puede usar perfectamente en motores diésel
H <sub>2</sub>	Hidrógeno
MTBE	Metil ter-butil éter. Aditivo de la gasolina que reemplaza al plomo. La versión “bio” consiste en una mezcla de biometanol (36% volumen) e isobutanol
NOx	Notación genérica para nitratos, nitritos y otras combinaciones de moléculas de nitrógeno y oxígeno
OPEP	Organización de Países Exportadores de Petróleo
PAC	Política Agrícola Común
PIB	Producto Interior Bruto
PNAE	Plan Nacional de Asignación de Emisiones
SUV	<i>Sport Utility Vehicle</i> . Vehículos combinación de monovolumen, todo terreno y deportivos. Las <i>pickups</i> estadounidenses son su mejor exponente
TEP	Tonelada equivalente de petróleo
VAB	Valor Añadido Bruto

## Las alternativas al petróleo como combustible para vehículos automóviles

**José Antonio Bueno Oliveros**  
Ingeniero. Consultor estratégico

Son muchos los estudios que alertan del agotamiento de las reservas de combustibles fósiles. Además, desde el año 2003 el precio del crudo ha roto todas las resistencias históricas y la combinación de desequilibrios entre oferta y demanda con tensiones geopolíticas, aderezada con una creciente especulación estructural, hace que no se vea un techo claro a su precio.

Por otro lado, el continuo deterioro de nuestra atmósfera debido a las emisiones de gases de efecto invernadero, como el CO<sub>2</sub>, parece acelerar los ciclos climáticos y está llevando a las sociedades avanzadas a formalizar su compromiso para limitar dichas emisiones mediante la firma del Tratado de Kioto. No puede obviarse que los vehículos automóviles propulsados por derivados del petróleo son una de las principales causas de emisiones de CO<sub>2</sub> (alrededor del 25%).

Si a una posible escasez del petróleo le añadimos responsabilidad medioambiental y precios en continuo ascenso, tenemos una coyuntura como la actual, en la que tal vez nos hallemos en un momento clave para la (re)definición del futuro de los derivados del petróleo para su uso como combustible de vehículos automóviles.

Pero las barreras para esta transformación son muy altas. Las petroleras son corporaciones con una gran influencia en la economía e incluso en la política mundial, cuya implicación es esencial para que el ansiado cambio energético se produzca. Y adicionalmente existen todavía problemas técnicos para encontrar una fuente ecosostenible, barata, segura y fácil de usar y repostar. Pero éstos no son insalvables.

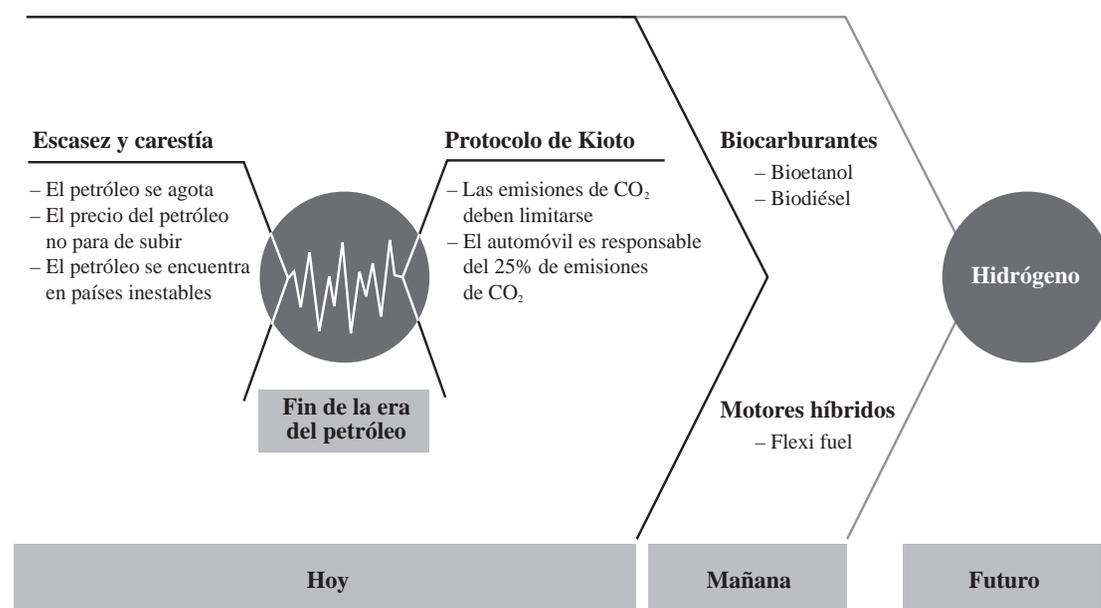
Tras revisar, de forma crítica, la situación actual y previsible del petróleo, el estudio recorre soluciones disponibles hoy en día (biocarburantes), así como la alternativa que parece ser la definitiva a medio plazo, la pila de combustible. En la transición conviviremos con una pléyade de soluciones intermedias, tales como los coches híbridos, los alimentados por varios combustibles (*flexi fuel*) o los que utilizan el gas natural como una fuente de energía más eficaz, aunque también finita y contaminante.

Dado que el autor entiende que es positiva la migración del petróleo a otros combustibles, el estudio concluirá con propuestas para acelerar una transición que parece imparable y positiva tanto para el medio ambiente como para la economía mundial en general y española en particular, pues no sólo permitiría reducir el déficit comercial y la dependencia energética, sino que no sería una quimera pensar que una empresa española pueda innovar en este campo.

- Reducción o eliminación de los **impuestos de matriculación y circulación** para los vehículos automóviles que usen tecnologías alternativas al petróleo: vehículos híbridos, con pila de combustible, etc., o de consumo y emisiones de CO<sub>2</sub> extraordinariamente reducidos (p. ej., menos de tres litros de combustible a los 100 km.).
- Establecimiento de un **Plan Prever o Renove** (plan de ayudas a la renovación del parque automovilístico) específico para la compra de vehículos traccionados por fuentes alternativas al petróleo.
- Actuación sobre los **impuestos de los biocarburantes**, de forma que el consumidor perciba un diferencial de precio de, por lo menos, un 20% respecto de los combustibles tradicionales.
- Creación de líneas de **subvención y financiación específicas para la investigación**, el desarrollo y la innovación en el área de biocarburantes, motores híbridos y/o pila de combustible.
- Creación de líneas de **subvención y financiación específicas para la implantación de pilas de combustible fijas** en edificios públicos y privados, como vía de popularización de la nueva tecnología.
- Impulso a la **entrada de las principales petroleras en el mundo de los biocarburantes** mediante, por ejemplo, ayudas a la transformación de las estaciones de servicio o legislando sobre la distancia mínima entre estaciones con posibilidad de despacho de biocarburantes.
- Creación de un **mercado estructurado de productos agrarios** susceptibles de transformarse en biocarburantes.
- Creación de un programa de **concienciación de los ciudadanos** sobre los combustibles alternativos al petróleo.
- Sustitución de parte de las **reservas estratégicas de petróleo por biocarburantes**.
- Uso de **combustibles alternativos en las flotas de vehículos públicos** (autobuses urbanos, policías local y autonómica, vigilantes forestales, bomberos, coches oficiales, etc.).

## Sinopsis del trabajo

**Gráfico 1. El fin de la era del petróleo y el futuro del hidrógeno**



Fuente: Elaboración propia

### La era del petróleo se termina:

- porque las reservas se agotan,
- por su creciente carestía,
- porque se encuentra en países inestables.

Pero también...

- porque las emisiones de CO<sub>2</sub> deben limitarse,
- porque los vehículos son responsables de cerca del 25% de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

En la actualidad, ya es posible disponer de **fuentes más ecosostenibles**:

- biocarburantes:
  - bioetanol,
  - biodiésel,
- motores híbridos,
- flexifuel.

El futuro estará basado en el **hidrógeno** como vector energético:

- pila de combustible,
- uso del hidrógeno en motores de combustión interna.

## 1. El futuro del petróleo como combustible para vehículos automóviles

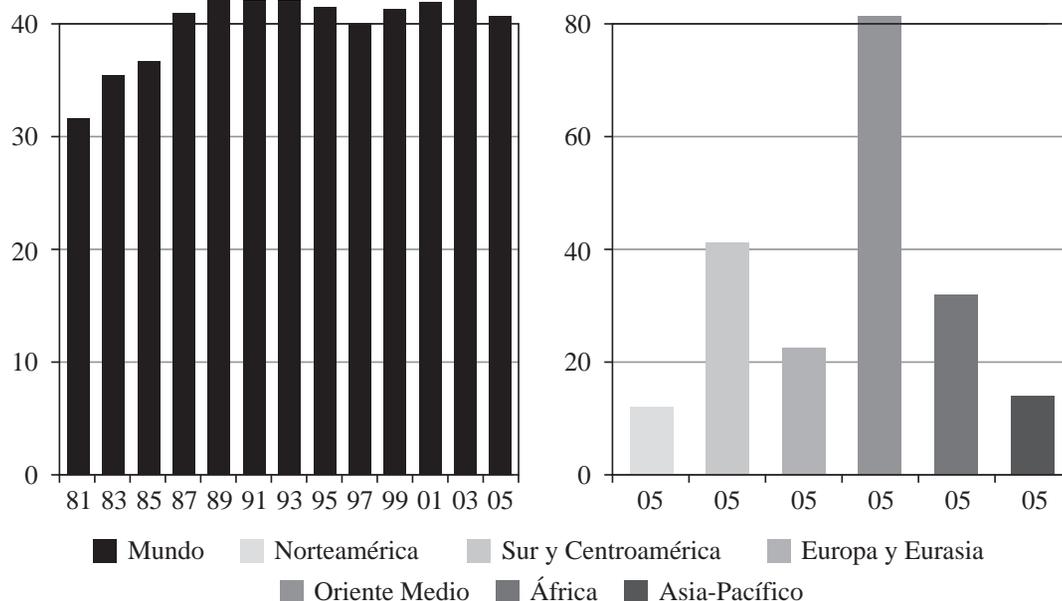
Poco, caro y con mala prensa por ser uno de los principales causantes del efecto invernadero. Si no fuese tan importante y las empresas relacionadas con él no fuesen tan influyentes, sus días estarían contados. Pero no nos libraremos tan fácilmente de ese líquido espeso, negruzco y un poco maloliente, pero que mueve la economía occidental tal y como la concebimos hoy.

En 1885, un geólogo del Estado de Pensilvania escribía: “La increíble importancia que le damos al petróleo es un fenómeno temporal y que desaparecerá. Los jóvenes de hoy verán su fin”. Desconozco quién fue tal geólogo autor de esta frase, pero, desde luego, su nombre no ha pasado a la historia por su capacidad de realizar pronósticos acertados. Por el contrario, en 1956 el director del laboratorio de prospecciones de Shell, M. King Hubbert, estudió las curvas de descubrimientos y producción de petróleo en EE UU, y concluyó que ese país alcanzaría el punto de máxima producción entre 1966 y 1972. Aunque en su época estas predicciones fueron ridiculizadas y olvidadas, la producción estadounidense alcanzó su máximo en 1970 y ha ido descendiendo año tras año. Algunos de sus discípulos, principalmente Collin Campbell y Kenneth S. Deffeyes, han aplicado técnicas similares para estimar el punto de máxima producción mundial. Según ellos, es muy probable que se haya alcanzado ya la máxima producción de petróleo convencional (la producción mundial está estancada desde 2000).

Pero, por otro lado, la realidad es tozuda respecto a marcar el inicio del descenso de las reservas del petróleo. Así, en 1970 “había reservas conocidas de petróleo para unos 30 años”; en cambio, en 1997 “había suficientes depósitos localizados de petróleo para otros 40 años (2037)”; lo cual quiere decir que en estos años se ha descubierto más de lo que se ha consumido. Muy recientemente Exxon-Mobil, primera petrolera mundial y clara opositora al Protocolo de Kioto, ha afirmado que la eclosión de la era de las energías renovables está lejos, que su cuota en el *mix* de fuentes energéticas será marginal durante muchos años y que nos queda aún una larga etapa donde petróleo, gas y carbón serán la fuente de energía principal de la humanidad.

De momento parece que esos 40 años de consumo es una constante desde 1997, aunque en este periodo se ha incrementado notablemente el consumo anual, en especial debido al gran crecimiento de las economías emergentes y en particular las asiáticas. Según los analistas de

**Gráfico 2. Relación reservas/producción (años de consumo 1981-2005)**



Fuente: BP Statistical Review of World Energy 2006

banca de inversión que cubren la evolución de las grandes petroleras, no es arriesgado decir que hay reservas para varias décadas, incluso para más de un siglo, pues, aunque el consumo se incrementa, año tras año van apareciendo nuevas reservas en lugares antes no explorados y con técnicas más eficientes que hacen que yacimientos abandonados o previamente descartados se consideren viables en la actualidad. De igual modo, si el precio del barril sube, pozos considerados no rentables dejarán de serlo, por lo que las reservas efectivas suben en cuanto lo hace el precio del petróleo. Adicionalmente hay varios analistas que defienden que no todas las reservas están declaradas, en especial las estadounidenses, que de esta forma dispondrían de una ventaja estratégica frente a potenciales crisis mundiales.

Simplificando al máximo, existen dos escuelas, la de los geólogos pesimistas, que prevén un fin cercano de la era del petróleo, y la de los economistas optimistas, que recomiendan invertir en las petroleras, pues la era del petróleo se prolongará, al menos, a lo largo de todo este siglo XXI debido a los nuevos yacimientos y a la mayor explotación de los actuales.

Los fabricantes de petróleo, las petroleras, son corporaciones enormes con una gran influencia en la economía e incluso en la política mundial. A nadie escapa que las tensiones geopolíticas de Oriente Medio vienen agravadas por el hecho de constituir esa zona la reserva mundial de petróleo. Todo cambio del *status quo* del petróleo como combustible sólo será posible si las petroleras lo lideran, o cuando menos participan activamente en

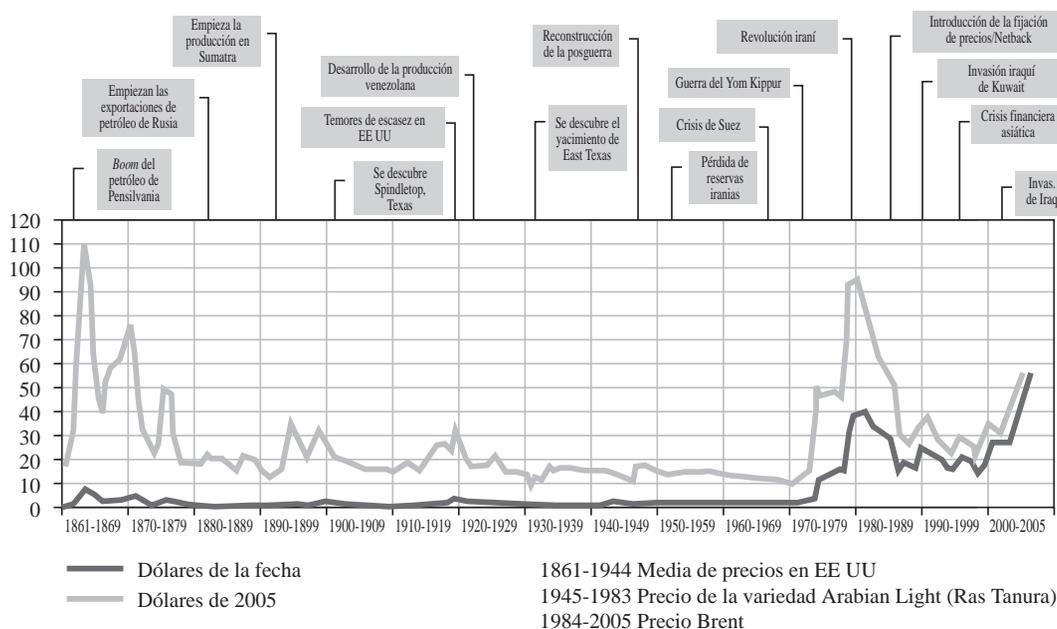
él. Siendo realistas, nadie puede luchar contra el sistema con unas garantías mínimas de éxito. Estamos en medio de la edad del petróleo, como antes estuvo la Humanidad en la edad del carbón o del hierro.

El futuro más probable de los combustibles parece ser, como nuestra sociedad, ecléctico. Hay muchas alternativas, y ninguna perfecta, al menos de momento. Cuando se profundiza en los costes energéticos y medioambientales surgen muchas dudas, nada es “gratis” medioambiental o energéticamente. Cultivar soja, fabricar silicio fotosensible, generar hidrógeno... todo tiene un coste energético y medioambiental. Se trata de encontrar las soluciones menos malas, las que garanticen un futuro sostenible. Los defensores del petróleo no andan muy equivocados cuando en sus estudios “del pozo a la rueda” (*well to wheel*) critican la eficiencia energética total de muchas alternativas al petróleo. Pero, ¿es el petróleo una alternativa duradera? ¿No hay nada mejor?

### 1.1 Evolución de los precios del petróleo

A lo largo de la historia el precio del petróleo ha sufrido una evolución marcada fundamentalmente por circunstancias sociopolíticas y económicas, más que por parámetros técnicos (Gráfico 3). Realizando un recorrido histórico desde el año 1870 hasta finales de 2003,

**Gráfico 3. Evolución del precio del petróleo desde 1861 a 2005**



Fuente: BP Statistical Review of World Energy 2006

cuando los precios parecían relativamente acotados entre máximos y mínimos, se comprueba que los mayores precios del petróleo han ido acompañados de distintas guerras que han afectado a los países productores o por el atentado terrorista del 11 de Septiembre, que dio lugar a una Segunda Guerra del Golfo.

Sin embargo, desde 2003 hasta hoy el precio parecía haber roto todo techo debido a causas tan variadas como el incremento desbordante de la demanda, en gran medida por la entrada de China en la economía mundial, numerosas tensiones geopolíticas, continuos sabotajes de las infraestructuras petroleras en Iraq, la crisis de la compañía petrolera rusa Yukos, tensiones internas en países productores tan distintos como Rusia, Venezuela y Nigeria, preocupación sobre los *stocks* y cuellos de botella en las refinerías de Estados Unidos, catástrofes naturales que afectan reiteradamente a zonas productoras y, sobre todo, una alta especulación en el mercado de futuros. Fuera por la combinación de noticias preocupantes o por la eficiente actuación del cártel de la OPEP, por el efecto amplificador de los medios de comunicación globales e inmediatos o simplemente por la mayor facilidad de especulación global, el precio del petróleo se ha disparado hasta los niveles más altos de la historia y, además, de forma sostenida, pues 2005 y 2006 han sido, por vez primera en más de 20 años, el segundo y tercer año consecutivo con el precio del barril de crudo Brent por encima de 30 dólares el barril.

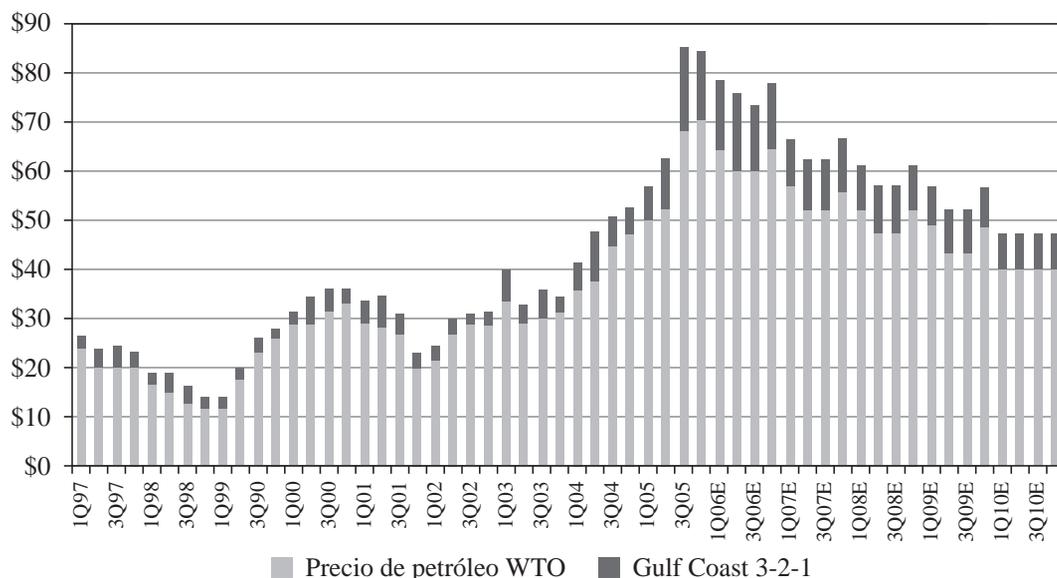
Pero la curva ascendente de precio pareció quebrarse en las últimas semanas de 2006, y 2007 ha comenzado con fuertes pérdidas. En cualquier caso, no parece nada probable (aunque las predicciones de precios de materias primas ya tienen más de especulación que de análisis de tendencia técnica) que se recupere un nivel inferior a los 30 dólares. 50 dólares parece un suelo muy resistente.

Las previsiones son de sostenimiento de precios altos (Gráfico 4), con un cambio de tendencia, leve, a la baja, motivado tanto por una contención del crecimiento del consumo como por las inversiones que están llevando las petroleras para explotar yacimientos antes considerados no económicos. Todas las compañías están subiendo permanentemente desde 2003 el precio del crudo referencia con el que calculan si un proyecto es rentable o no. En la actualidad, costes de extracción hasta hace poco impensables, superiores a 25 dólares por barril, se consideran razonables en tanto en cuanto se mantenga la resistencia antes citada de 50 dólares.

Los expertos dicen que el problema de precios no se solucionará hasta que el colchón de producción sin utilizar (la denominada producción ociosa) supere el 5% del consumo mundial; hoy se sitúa alrededor del 1%, aunque un invierno poco frío como éste de 2006-2007 demuestra la inercia del sistema, que genera sobreabundancia de reservas ante coyunturas como la presente.

Las previsiones de precios, altos pero conteniéndose, podrían variar drásticamente tanto al alza, por una crisis profunda en un país productor combinada con un invierno gélido que dispararía el consumo en los países ricos, como a la baja, si los altos precios colapsan el crecimiento mundial, se entra en recesión global y, por tanto, baja el consumo drásticamente.

**Gráfico 4. Estimación de la evolución del precio del petróleo crudo y refinado hasta 2010**



Fuente: DOE, Bloomberg, CSFB

## 1.2 Agotamiento de las reservas de petróleo

Adicionalmente a las tensiones geopolíticas y a los vaivenes del equilibrio entre oferta y demanda, el precio del petróleo también está sobretensionado porque puede que estemos llegando al “techo” de su producción. Según una teoría muy extendida por los geólogos, y casi nunca considerada ni por los analistas económicos ni por la prensa, estamos entrando en la pendiente de la escasez debido al agotamiento del recurso, y ya no habrá nunca más petróleo barato.

El propio Alan Greenspan, anterior presidente de la Reserva Federal de EE UU, lo advirtió en un discurso en el Center for Strategic and International Studies de Washington, de 24 de abril de 2004:

“El dramático incremento de los precios de los futuros de crudo y gas natural a seis años vista que se ha producido en los últimos años ha pasado casi desapercibido (...). Seis años es un periodo suficientemente largo para buscar, descubrir, perforar y extraer petróleo y gas, y, por tanto, los precios de los futuros a este horizonte pueden considerarse como indicativos de los precios reales a largo plazo.”

A menos que los geólogos, la industria del petróleo y los mercados de futuros estén todos equivocados, no queda más remedio que aceptar que, por encima de las típicas oscilaciones debidas a hechos coyunturales como las decisiones de la OPEP o la violencia y los sabotajes contra pozos petrolíferos en Iraq, el temor a que Al Qaeda se haga con el crudo saudí, la inestabilidad política en Venezuela, Nigeria y Colombia y la crisis de la petrolera rusa Yukos, la tendencia al alza del precio del crudo es irreversible.

Este agotamiento de los recursos fue predicho hace 50 años por un ingeniero de Shell, King Hubbert, quien analizó el ciclo de vida de los pozos petroleros y llegó a la conclusión de que cada pozo tiene un rendimiento creciente en su nivel de extracción diaria hasta que se llega a la mitad de su reserva. Una vez llegados a este nivel, la capacidad de producción de esos pozos es cada vez menor hasta que se agota completamente. Esta hipótesis dio lugar a lo que luego se conoció como la “campana de Hubbert”, que describe el aumento progresivo de la capacidad de producción diaria de petróleo de un pozo hasta un techo –momento en el que se explotaron la mitad de las reservas– luego de lo cual comienza su vertiginosa caída. Con esta hipótesis como guía, Hubbert predijo en 1956 que los pozos de los 48 Estados de EE UU llegarían a su techo en 1969. Hubbert se equivocó. Por poco. El techo de producción de crudo se alcanzó en Estados Unidos en 1970.

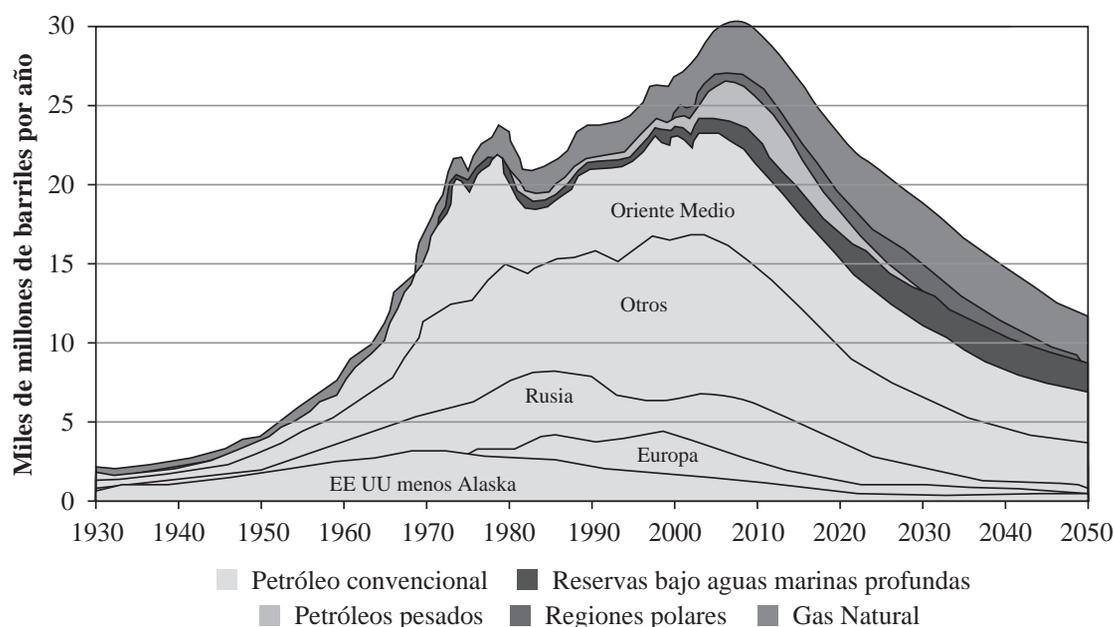
En cualquier caso, no puede pasarse por alto que hay un gran número de analistas que califican como política la decisión estadounidense de reducir la extracción de petróleo a partir de esta fecha para seguir conservando reservas estratégicas (que, efectivamente, sacan al mercado cuando les interesa), antes que por el agotamiento de sus yacimientos.

Prescindiendo de las consideraciones políticas, utilizando la misma campana y la misma hipótesis, Colin Campbell y Jean Laherrère escribieron en 1998 un artículo para la revista académica *Scientific American* donde analizan la situación de los pozos petroleros en todo el mundo. El artículo se llamó “El fin del petróleo barato” y, utilizando la metodología que había dado tanto éxito a Hubbert en su predicción sobre los pozos de EE UU, concluyeron que el techo de la producción mundial se alcanzaría en 2003. Hay decenas de trabajos que siguieron esta línea de pensamiento. L. B. Magoon, de la gubernamental United States Geological Survey, dice que también la ex Unión Soviética ha llegado a este techo en 1987. Jeremy Rifkin, en su libro *La economía del Hidrógeno* (2002), analiza varias de estas investigaciones y otras más, y llega a la misma conclusión, e identifica la tecnología del hidrógeno como la única vía posible para el futuro.

Tanta es la información disponible que hasta se ha creado una asociación de científicos dedicados especialmente a estudiar este tema: The Association for the Study of Peak Oil and Gas, quienes estiman actualmente que el techo ya se ha alcanzado en 2005 (Gráfico 5).

Quienes no creen que estemos a las puertas del fin de la era del petróleo, fundamentalmente analistas de inversión que siguen la cotización de las petroleras y la prensa en general, argumentan que siempre que ha habido amenazas similares se han encontrado nuevos pozos.

**Gráfico 5. Pico de la producción mundial de petróleo**

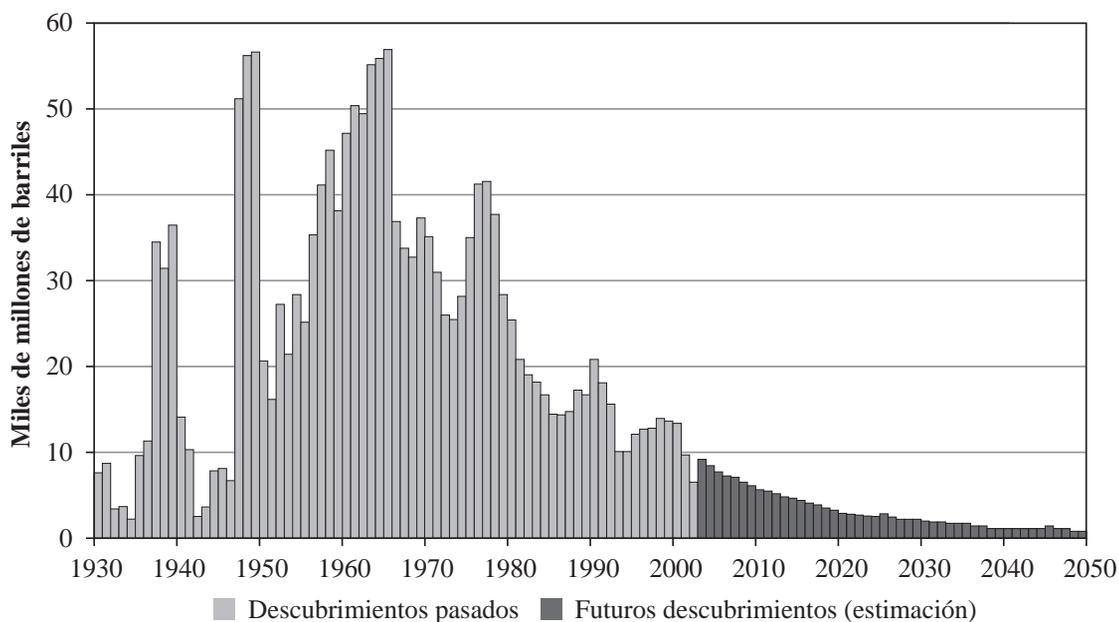


Fuente: Association for the Study of Peak Oil and Gas, abril 2004

Esto es cierto a medias. En realidad los nuevos pozos que se encuentran son cada vez menores e incorporan menos reservas de las que se consumen. Por ejemplo, durante la década de 1990 se descubrieron pozos con reservas que promediaban unos 7.000 millones de barriles cada año, mientras que en el mismo plazo se consumieron un promedio de 21.000 millones de barriles anuales. Actualmente la producción alcanza los 27.000 millones de barriles por año y –si la hipótesis de Campbell y Laherrère es correcta– nunca más superaremos esta marca. Según los autores, este nivel podría llegar a mantenerse hasta el 2010, pero luego comenzaría el incontenible declive. Para el gas natural se prevé un destino similar, aunque el techo en este caso se alcanzaría en el año 2015.

Hay sospechas bastante bien fundadas de que no hay más grandes pozos con petróleo por descubrir. Podrán encontrarse algunos nuevos yacimientos, pero por ahora no hay evidencias que permitan esperanzas de cambios sustanciales (Gráfico 6). En la actualidad el 80% del petróleo que se extrae proviene de pozos descubiertos en 1973 y que están llegando a su techo de producción, como los de Oriente Medio. Hay una línea de pensamiento que defiende que en el mar o en los polos hay grandes bolsas no explotadas. Sus detractores son dobles. Por un lado, quienes defienden el deber de la humanidad de no explotar todos los rincones del planeta en búsqueda de petróleo. Por otro, quienes recuerdan la naturaleza fósil del petróleo, y sostienen que no parece muy probable que en lugares tan inhóspitos como los polos o fosas marítimas se encuentren grandes cantidades de biomasa fosilizada.

### Gráfico 6. Descubrimientos de yacimientos petrolíferos



Fuente: Colin Campbell, 2002

El consumo mundial de petróleo sobrepasa los 12.000 millones de litros al día y, según las directrices de la política energética nacional estadounidense, elaborada en mayo de 2001 bajo la dirección del vicepresidente Cheney, para mantener las actuales tasas de crecimiento económico y de población el mundo necesita aumentar su consumo de crudo en un 2,1% al año. ¿Hasta cuándo será posible mantener una extracción creciente de un recurso finito y no renovable? Tarde o temprano, el petróleo se agotará, y con él, el combustible que ha movido y mueve los engranajes del comercio mundial y del crecimiento económico, condición imprescindible para la continuidad de la economía de mercado que hoy rige los destinos de un mundo globalizado.

Por suerte, la herencia recibida es inmensa, y desde los inicios de la era industrial no se ha consumido aún la mitad del petróleo acumulado. Por tanto, su inevitable agotamiento está lejano, pero hay que afrontar que el planeta está, cuando menos conceptualmente, a las puertas de, si no ya viviendo, un fenómeno que puede provocar un cambio económico y social sin precedentes: el pico de la producción mundial de crudo. Se podrá extraer por mucho tiempo, pero cada vez a un ritmo menor y a un coste mayor.

Si esta predicción del fin de la era del petróleo fuese cierta, la noticia no es apocalíptica, ni siquiera mala. Ya vendrán otros combustibles, otras formas de uso de la energía; quizás otra forma de organizar la producción y la vida. Lo importante es que estamos obligados a

prepararnos. Prepararse para una vida sin petróleo, sin gas. ¿Vale la pena invertir en oleoductos, gasoductos, redes de comercialización de hidrocarburos? Si una característica tiene la matriz energética es la lentitud y lo costoso de su modificación. En general las inversiones en el sector de la energía tienen largos plazos de amortización, por lo que toda decisión tomada hoy tiene repercusiones para los próximos 30 años. ¿Nuestros gobiernos van a seguir invirtiendo en un bien energético que será cada vez más caro, como el gas natural y el petróleo? O, por el contrario, ¿los gobiernos deberían apostar por las tecnologías que serán cada vez más baratas, como el hidrógeno, la energía solar o la eólica?

La noticia no es catastrófica. Lo catastrófico puede ser el destino al que las decisiones de los gobiernos nos lleven en la medida en que no tengan en cuenta estos datos.

Si en los últimos 150 años el hombre ha podido desarrollar la sociedad industrial, ha sido gracias a encontrarse con una herencia insospechada e irrepetible: cientos de miles de millones de toneladas de hidrocarburos atrapados en el subsuelo del planeta, resultado de procesos geológicos fortuitos que a lo largo de millones de años fosilizaron la energía solar almacenada en inmensas cantidades de microorganismos prehistóricos. El petróleo ha sido, sin lugar a dudas, el carburante por excelencia del progreso económico del último siglo. Todo parece indicar, sin embargo, que el mundo está a las puertas de un cambio de tendencia sin precedentes: de petróleo abundante y barato a un suministro cada vez más caro y escaso.

Hasta bien entrado el siglo XVII, las distintas civilizaciones humanas vivieron y progresaron en la medida en que fueron capaces de aprovechar directamente la energía solar, ya fuera en forma de cultivos agrícolas, quemando leña o aprovechando la energía hidráulica y eólica para convertirla en trabajo. El bajo porcentaje de energía solar que podían captar ponía un límite natural a la capacidad de reproducción y supervivencia de la humanidad. Durante miles de años la población mundial se mantuvo más o menos constante alrededor de unos pocos centenares de millones de personas y, sin embargo, a mediados del siglo XIX se inició una fase de crecimiento exponencial que ha llevado hasta los 6.200 millones y a duplicar la esperanza de vida. A mediados de siglo podrían alcanzarse los 9.000 millones. ¿Qué hizo posible esta explosión demográfica después de miles y miles de años de estabilidad? ¿Qué ocurrió a mediados del siglo XIX que disparó este crecimiento?

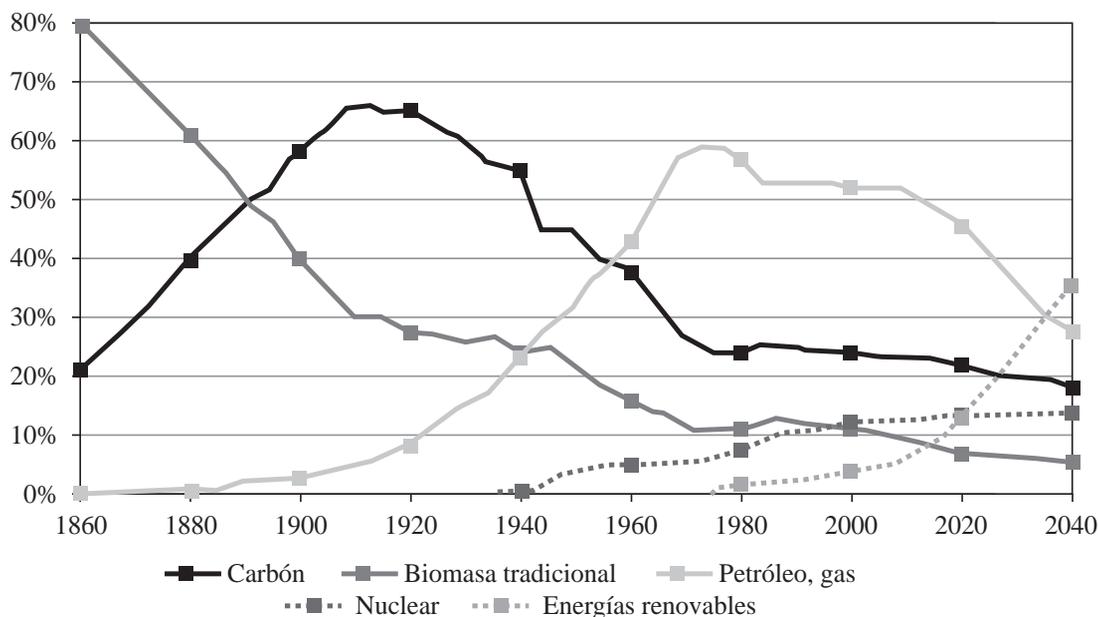
No puede atribuirse una causa única a un hecho de esta magnitud, resultado de una acumulación de procesos madurados a lo largo de siglos, pero, si se analiza en detalle, se verá que hay una causa física que habilitó los demás factores: la humanidad pasó de vivir del flujo de energía solar que llega a la Tierra a vivir de la explotación de recursos fósiles acumulados en periodos geológicos muy anteriores.

Todo empezó a cambiar a finales del siglo XVIII, cuando el carbón proporcionó energía a las máquinas de vapor que iniciaron la verdadera Revolución Industrial, pero muy especialmente a partir de 1850, cuando se pusieron en producción los primeros pozos petrolíferos.

ros en Pensilvania (EE UU). Con el carbón, el petróleo y el gas natural, la humanidad descubrió que los límites al crecimiento no los fijaba ya la cantidad de energía solar captada en cada generación, sino la velocidad a la que podían extraerse los recursos energéticos fósiles que a lo largo del último siglo se han convertido en el combustible vital de nuestra civilización. El 90% de la energía que el planeta consume es fósil. Del consumo energético mundial, el petróleo representa alrededor de un 40%; el carbón, un 26%, y el gas natural, un 24%. La energía nuclear (7%) y la hidráulica (3%) cubren el resto (Gráfico 7). El 66% del petróleo que se extrae se quema para mover más del 90% de los medios que se emplean hoy para transportar personas y mercancías. El sector agrario, que ha cuatriplicado su productividad, consume el 17% de la producción mundial de petróleo: los campos se han convertido en esponjas en las que se derraman fertilizantes y pesticidas para hacer crecer alimentos. Literalmente, comemos petróleo: para producir un kilo de carne de vaca se consumen siete litros de crudo. Y el que no se gasta en transporte o alimentos se utiliza para fabricar plásticos, productos químicos o farmacéuticos, para mover la maquinaria industrial, calentarse o generar electricidad.

La viabilidad de la sociedad industrial actual y la continuidad de sus avances científicos, económicos y sociales depende en gran medida de la disponibilidad creciente de una fuente energética flexible, abundante y hasta hace poco fácil de obtener, pero finita. Aun así, el ser humano actúa como si el modo de vida consumista que ha acompañado a la industrialización fuera un derecho adquirido por tiempo indefinido y un objetivo extensible a buena

**Gráfico 7. Evolución del porcentaje de fuentes de energía**



Fuente: Fuel cell exhibition 2006 - Bewag

parte de la población mundial: se disfruta de la herencia geológica como si de una renta vitalicia se tratara. Antes o después habrá un cambio de paradigma y debemos prepararnos para él.

Y no podemos olvidar que cada vez se producen máquinas más eficientes energéticamente. Los motores actuales son tan eficientes que serían igual de útiles con combustibles menos energéticos.

“El uso de los aceites vegetales puede resultar insignificante hoy en día, pero a medida que el tiempo avance, estos productos pueden resultar tan importantes como los derivados del petróleo que ahora tenemos.”

La frase la pronunció Rudolph Diesel, inventor del motor que lleva su apellido, allá por 1912. Tanto él como Henry Ford, que fundó la marca y el grupo que hoy llevan su nombre, apostaban por los combustibles vegetales como fuente ideal de energía para sus motores. El bajo precio y la facilidad de extracción, así como el poder económico de las petroleras, hizo que esta visión no se cumpliera. Quien sabe si ahora, un siglo después, estamos en condiciones de hacer realidad esta previsión.

## 2. El Protocolo de Kioto

La motivación para disminuir la dependencia del petróleo no es sólo su creciente carestía y su potencial agotamiento. Existe una creciente sensibilización respecto del impacto medioambiental de las actividades humanas que se concreta en el cambio climático y, más concretamente, en el Protocolo de Kioto. La sensibilización mundial respecto de la influencia humana en el cambio climático es condición suficiente para replantear la economía basada en el petróleo, independientemente de la escasez y carestía del mismo.

El Protocolo de Kioto sobre Cambio Climático es el resultado más significativo del esfuerzo colectivo y global para buscar un marco conjunto que permita luchar contra el cambio climático. Así, se establecen unos límites cuantificados y obligatorios de emisión de gases de efecto invernadero (GEI) para los países que lo ratifican (jurídicamente vinculantes).

“Las partes (...) se asegurarán individual o conjuntamente de que sus emisiones antropogénicas agregadas, expresadas en dióxido de carbono equivalente, de los gases de efecto invernadero (...) no excedan de las cantidades atribuidas a ellas (...) con miras a reducir el total de sus emisiones de esos gases a un nivel inferior en no menos del 5% al de 1990 en un periodo de compromiso comprendido entre 2008 y 2012.

Todas las partes (...) formularán, aplicarán, publicarán y actualizarán periódicamente programas nacionales y, en su caso, regionales que contengan medidas para mitigar el cambio climático y medidas para facilitar una adaptación adecuada; tales programas guardarán relación, entre otros, con los sectores de la energía.”

Presenta como objetivo global la reducción de un 5% en las emisiones respecto de 1990 (cubre los seis principales GEI), focalizado mediante un compromiso de los 38 países industrializados incluidos en el Anexo 1 del Protocolo con objetivos jurídicamente vinculantes y calendarios de cumplimiento. No se han fijado objetivos para países en vías de desarrollo.

Los plazos marcados son muy claros:

- 2005: avances significativos en la reducción (informe de progreso en enero de 2006).
- 2008-2012: periodo de compromiso.
- >2012: periodo post-Kioto.

Para que el Protocolo entrara en vigor se establecieron dos requisitos indispensables:

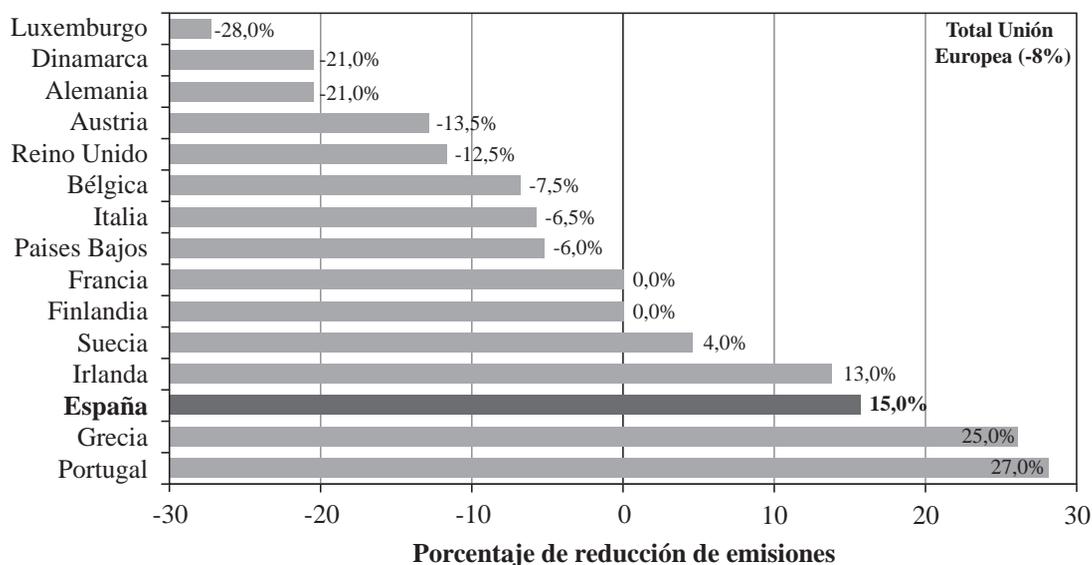
- que el número de países que lo ratificaran fuera de un mínimo de 55;
- que las emisiones de aquellos países que hubieran ratificado el Protocolo superaran el 55% de las emisiones totales de los países del Anexo 1 en 1990.

Tras la ratificación de Rusia, el Protocolo entró en vigor el 16 de febrero de 2005, afectando a todos aquellos países que lo hayan ratificado (164 países que generan el 61,6% de las emisiones del planeta). “Sólo” hay un pequeño problema: hay cuatro países que no han firmado el protocolo, por lo cual sus emisiones no están reguladas por este acuerdo: Kazajistán, Croacia, Australia y Estados Unidos. Y Estados Unidos es el primer generador de CO<sub>2</sub> del mundo, por lo que los esfuerzos de los firmantes no tienen respuesta en el que más contamina.

La UE se comprometió a la reducción en 2010 de un 8% de sus emisiones de GEI respecto de 1990. Este objetivo se repartió entre los Estados miembros, asignando a cada uno un objetivo concreto (Gráfico 8).

Con la ratificación del Tratado se establece en la UE primero un periodo de tres años (2005-2007) de “calentamiento”, seguido de un periodo de cinco años bajo el Comercio Internacio-

**Gráfico 8. Compromisos de reducción de emisiones de la Unión Europea por el Tratado de Kioto**



Fuente: Oficina Española del Cambio Climático. Ministerio de Medio Ambiente

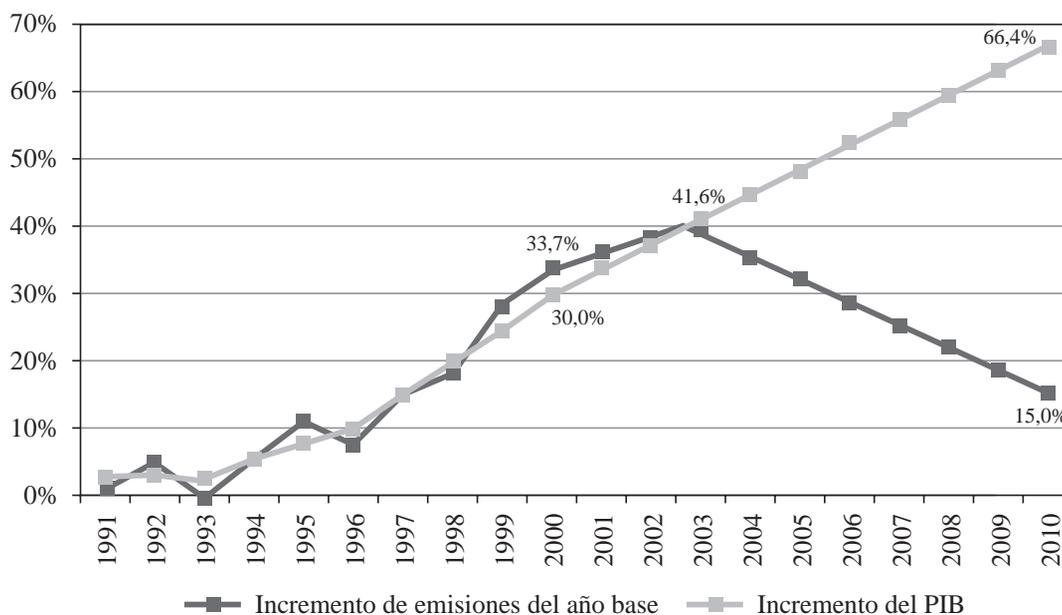
nal de Emisiones de Kioto (2008-2012). En esta primera fase de implantación, el Protocolo sólo afecta al CO<sub>2</sub> como GEI en grandes instalaciones industriales y de producción de energía (46% de las emisiones totales de la UE). En concreto:

- Actividades energéticas (refinerías, coquerías e instalaciones de combustión con una potencia térmica nominal superior a los 20 MW).
- Producción y transformación de metales férreos.
- Industrias minerales (cemento, vidrio y cerámica).
- Fabricación de papel y pasta de papel.

La situación española para el cumplimiento del objetivo de Kioto no es muy halagüeña. Teniendo en cuenta que la correlación histórica de España entre PIB y emisiones es muy fuerte (0,98), alcanzar al tiempo los objetivos de crecimiento y de disminución de emisiones exige un cambio de tendencia demasiado acusada para que sea factible.

Sin embargo, a través de las medidas establecidas en el Plan Nacional de Asignación para los sectores afectados y los difusos (entre los que se encuentra el Transporte), el Gobierno pretende alcanzar en 2010 un incremento máximo de emisiones de GEI del 24% respecto

**Gráfico 9. Evolución de emisiones y PIB en España**



Fuente: Ministerio de Medio Ambiente

a 1990 (Gráfico 9). El déficit del 9% en relación con el objetivo del 15% se cubriría mediante permisos de emisión obtenidos por el propio Gobierno a través de los mecanismos flexibles que prevé el Protocolo.

El sector del transporte es uno de los grandes emisores, destacando el transporte por carretera. La Directiva 2003/87/CE debía ser revisada no más tarde de octubre de 2006. Según el apartado 2.a) del artículo 30, entre los aspectos que debían ser considerados en esta revisión de la Directiva está la inclusión de los sectores de transporte, químico, aluminio y otras actividades.

La revisión se hizo en noviembre de 2006 y ha relajado un poco los objetivos, por medio del Real Decreto 1370/2006, de 24 de noviembre, por el que se aprueba el Plan Nacional de Asignación de derechos de emisión de gases de efecto invernadero, 2008-2012 (BOE nº 282, de 25 de noviembre): Se plantea como objetivo básico que las emisiones totales de GEI durante el período 2008-2012 no aumenten en más del 37% las del año base multiplicadas por cinco. Esto supone rebasar el objetivo de Kioto para España en un 22% (ya que España está autorizada a un incremento del 15% al final del periodo). La compensación de ese 22% en exceso se haría:

- 2% a través de sumideros,
- 20% mediante mecanismos de flexibilidad.

Y sí recoge el sector del transporte, al que cataloga como actividad esencial en nuestra sociedad, ya que participa en la actividad económica tanto en su incidencia en el sistema productivo, como por ser una actividad que los ciudadanos realizan para satisfacer su demanda de movilidad.

En la última década (1995-2004) el transporte de viajeros por carretera ha crecido un 38%, por ferrocarril algo más del 25% y el marítimo un 62%. Destaca, sin embargo, el crecimiento del transporte aéreo de pasajeros, que se ha incrementado en un 72%.

En el mismo periodo, el transporte de mercancías también ha aumentado de forma diferente según el modo de transporte: el marítimo ha crecido un 41% y el de ferrocarril lo ha hecho un 15%. Destacan el transporte de mercancías por tubería (gas natural), que se ha incrementado un 39%, y el transporte por carretera, un 57%.

El crecimiento económico del sector en los últimos años, medido en términos de su Valor Añadido Bruto (VAB), superior en un 44% al de 1990, acompañado de un incremento de la demanda de transporte y un aumento de la movilidad, ha supuesto un aumento en el consumo energético superior, pese a las mayores eficiencias de los vehículos, y ha generado un aumento de los gases de efecto invernadero.

Así, en el período 1990-2004, las emisiones a la atmósfera de CO<sub>2</sub> procedentes del transporte han sufrido un incremento del 75,6%. En 2004, las emisiones de CO<sub>2</sub> del transporte supusieron alrededor del 28% de todas las emisiones de CO<sub>2</sub>. Dentro de los sectores difusos, el sector del transporte es el responsable del 50% de las emisiones de GEI.

Las actuaciones propuestas para cumplir con los objetivos de Kioto se enmarcan en varios frentes:

- Ahorro y eficiencia energética. Si se consume menos, se contamina menos.
- Plan de energías renovables 2005-2010 e iniciativas para el aumento del uso de combustibles alternativos (el 5,83% del consumo de gasolina y gasóleo para el transporte debería provenir de biocarburantes en 2010).
- Plan estratégico de Infraestructuras de Transporte 2005-2020. La intermodalidad debería considerar y favorecer la eficiencia energética.

Teniendo en cuenta el efecto de las medidas indicadas, en el quinquenio 2008-2012 las proyecciones de emisiones de GEI debidas al transporte crecerán una media de 109% con respecto a las emisiones de este sector en el año base.

Para alcanzar la reducción de emisiones, el sector del transporte va a tener que transformarse rápidamente durante los próximos años, pues de otro modo no cabría la posibilidad de cumplir con el Protocolo de Kioto.

Por ello, se anuncia un conjunto de medidas adicionales con objeto de cumplir con su parte de responsabilidad en las emisiones de CO<sub>2</sub> y conseguir cumplir con el escenario de reducción asumido. No todas las competencias para hacerlo recaen en el ámbito de la Administración General del Estado, pero jugará un papel coordinador con objeto de establecer una política de transportes que posea, entre otros objetivos, la reducción de sus emisiones de GEI.

Por ello se esbozan medidas en dos frentes:

- Actuaciones en entornos urbanos.
- Mejora de la eficiencia y uso de combustibles alternativos.

La revisión no es, ni mucho menos, agresiva. El transporte es tremendamente relevante en la economía y su crecimiento va parejo con el crecimiento económico.

Dado el mencionado objetivo de reducción (40%) para el sector del transporte, y una vez incluidas las reducciones de emisiones de los vehículos nuevos, el consumo de biocarbu-

rantes se plantea como una de las medidas primordiales para la consecución de dicho objetivo. De ahí la importancia del desarrollo de sus mercados.

Por su parte, el Plan Nacional de Asignación de Emisiones (PNAE) y el documento E4 para reducir las emisiones totales y específicas del transporte también contemplan el desarrollo de los mercados de biocombustibles entre las medidas prioritarias para la reducción de emisiones GEI de cara al cumplimiento del Protocolo de Kioto.

Si los biocombustibles supliesen el 20% del consumo de combustibles fósiles en Europa, se dejarían de lanzar a la atmósfera 200 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> cada año. Junto a esto, se conseguiría reducir al 50% las emisiones de partículas, algunas de las cuales son cancerígenas.

En resumen, el petróleo encarece y se agota, pero, además, nos hemos comprometido a usarlo menos (o mejor).

### 3. Biocarburantes

Los biocombustibles se producen a partir de la biomasa (materia vegetal) y son una fuente de energía renovable. Los biocombustibles se pueden presentar tanto en forma sólida (residuos vegetales, fracción biodegradable de los residuos urbanos o industriales) como líquida (bioalcoholes, biodiésel) y gaseosa (biogás).

Dentro de los biocombustibles, los biocarburantes abarcan el subgrupo caracterizado por la posibilidad de su aplicación en los actuales motores de combustión interna (motores diésel y Otto), de forma directa o con aditivos y realizando o no pequeñas adaptaciones en los motores. Son, en general, de naturaleza líquida.

La utilización de biocarburantes contribuiría a la reducción de emisiones de gases contaminantes y de efecto invernadero a la atmósfera. El biodiésel no emite dióxido de azufre, lo cual ayuda a prevenir la lluvia ácida, y disminuye la concentración de partículas en suspensión emitidas, de metales pesados, de monóxido de carbono, de hidrocarburos aromáticos policíclicos y de compuestos orgánicos volátiles. El bioetanol, en comparación con la gasolina, reduce las emisiones de monóxido de carbono e hidrocarburos. Además, al ser fácilmente biodegradables, los biocarburantes no inciden negativamente en la contaminación de suelos. Finalmente ayudan a la eliminación de residuos en los casos en que los mismos se utilizan como materia prima en la fabricación de biocarburantes (por ejemplo, los aceites usados en la fabricación de biodiésel).

Constituyen una fuente energética renovable y limpia. Además, su utilización contribuye a reducir la dependencia energética de los combustibles fósiles y otorga una mayor seguridad en cuanto al abastecimiento energético.

Finalmente, los biocarburantes constituirían una alternativa para las tierras agrícolas afectadas por la Política Agrícola Común (PAC). De esta forma, contribuirían a fijar la población en el ámbito rural, manteniendo los niveles de trabajo y renta, y fomentando la creación de diferentes industrias agrarias.

Los biocarburantes, si bien han tenido un notable desarrollo industrial en los últimos veinte años (desde los años ochenta), no son, en absoluto, algo nuevo. La primera demostración de funcionamiento de un motor diésel, en la Feria de Exhibición de París de 1898, utilizaba aceite de cacahuete como combustible. Su inventor, Rudolph Diesel, pensaba que el futuro de dicho motor (en contraposición con los de vapor de la época) pasaba por la utilización

de combustibles procedentes de la biomasa, y así fue hasta los años veinte del siglo pasado, cuando (y a partir de entonces) el desarrollo de la industria petrolera los relegó a un segundo plano. De igual forma, los primeros automóviles estadounidenses de American Ford funcionaban con bioetanol, manteniendo su creador, Henry Ford, tesis muy similares a las de Rudolph Diesel.

Entre los años veinte y las crisis del petróleo de 1973 y 1978 el petróleo relegó cualquier otro combustible por su abundancia y bajo precio. Pero las políticas energéticas de los años ochenta favorecieron la búsqueda de alternativas a la dependencia de los combustibles fósiles (especialmente en EE UU y Brasil), como por ejemplo el Programa Proalcohol en Brasil para el desarrollo de bioetanol a partir de azúcar de caña.

La eficiencia de los motores actuales es lógicamente muy superior a la de los de hace un siglo. La mayoría de países limita la velocidad máxima de los coches. En una sociedad que intenta no circular a más de 110/130 km/h, con motores de alto rendimiento, el uso de combustibles menos energéticos, pero más respetuosos con el medio ambiente, es más que viable.

Es muy probable que los biocarburantes no puedan sustituir totalmente en el corto plazo a los combustibles fósiles, pero sí complementarlos mediante mezclas para reducir la dependencia respecto del petróleo, a diferencia de otras alternativas que son excluyentes (por ejemplo, los gases licuados del petróleo o la pila de combustible) y necesitan cierta duplicación del sistema motor. Los biocarburantes, además, pueden utilizar la misma red logística de distribución que los combustibles fósiles.

También es preciso recordar que uno de los principales impulsos del actual desarrollo de los biocarburantes está relacionado con sus características medioambientales y, en especial, por ser la medida de mayor efecto (si no la única) para disminuir las emisiones del sector del transporte y reducir su efecto en el cambio climático.

Los biocarburantes en uso proceden de materias primas vegetales a través de reacciones físico-químicas:

- **Biodiésel:** obtenido a partir de semillas oleaginosas mediante esterificación de aceites vegetales, grasas animales o a partir de aceites usados. Puede usarse mezclado con diésel tradicional o incluso sustituirlo totalmente, pues su densidad y número de cetanos son parecidas al gasóleo de automoción. Además, su punto de inflamación es superior al del gasóleo, lo que implica una mayor seguridad en su utilización.
- **Bioetanol:** obtenido fundamentalmente a partir de azúcar, almidón, fangos de aguas residuales y semillas ricas en azúcares mediante fermentación. Puede ser mezclado en diferentes proporciones con la gasolina, si bien a partir de porcentajes del 15% pueden requerirse pequeñas modificaciones del motor en los llamados *Flexible Fuel Vehicles*. Además, el bioetanol se puede utilizar para fabricar ETBE, aditivo de la gasolina.

- **Bio-ETBE:** se produce mediante la mezcla de bioetanol (al 45% en volumen) e isobutileno. Puede ser empleado en motores de gasolina sin necesidad de modificaciones en el motor.
- **Biometanol:** podría convertirse en una opción interesante para los vehículos propulsados mediante pilas de combustibles (con reprocesado del hidrógeno a bordo) debido a su elevado contenido en hidrógeno.
- **Bio-MTBE:** aditivo para la gasolina similar al Bio-ETBE, mediante la mezcla del biometanol (al 36% en volumen) e isobutanol.
- **Biogás:** se produce mayoritariamente a través de la fermentación anaeróbica de biomasa húmeda.
- **Biodimetiléter:** es un combustible prometedor para motores diésel debido a sus propiedades de combustión y emisión. Sus propiedades físicas son similares al gas licua-

**Tabla 1. Características técnicas de los principales biocarburantes**

	Motores diésel				Motores Otto (gasolina)				
	Diésel	Biodiésel	DME	F-T Diésel	Gasolina	Etanol	ETBE	Metanol	MTBE
Fórmula química	$C_{12}H_{26}$	Estermetílico	$CH_3O-CH_3$	Querosenos	$C_8H_{18}$	$C_2H_5-OH$	$C_4H_9-OC_2H_5$	$CH_3OH$	$C_4H_9-OCH_3$
Número cetano	50	54	55-60	> 74	8	11	–	5	–
Número octano (MON)	–	–	–	–	86	92	105	92	100
Densidad (kg/l)	0,84	0,88	0,67	0,78	0,75	0,80	0,74	0,79	0,74
LHV (MJ/kg @ 15->Q)	42,7	37,3	28,4	44,0	41,3	26,4	36,0	19,8	35,2
Ratio Stoich aire/ combustible (kg/kg)	14,5	12,3	9,0	–	14,7	9,0	–	6,5	–
Contenido oxígeno (wt-%)	0-0,6	9,2-11,0	–	~0	–	–	–	–	–
Viscosidad cinemática	4	7-4	–	3,66	–	–	–	–	–
Punto de inflamación (x°C)	77	91-135	–	72	–	–	–	–	–
Punto de ebullición	–	–	–	–	30-190	78	72	65	55

Fuente: Biofuel for transport. LAMNET

do presurizado (GLP). Se puede emplear como sustituto del GLP, como aditivo de la gasolina o como componente para mezclas con combustibles diésel.

- **Combustibles biosintéticos:** se obtienen a partir del biogás derivado de la biomasa mediante el proceso Fisher-Tropsch, construyendo cadenas de polímeros a partir de las moléculas básicas del CO y H<sub>2</sub>. A través de este proceso se puede producir un amplio abanico de combustibles de gran calidad; sin embargo, es un proceso caro.

En España únicamente se reconocen como biocarburantes utilizables en vehículos estándares el biodiésel y el bioetanol.

### 3.1 Producción de biodiésel

El biodiésel es un biocarburante producido a partir de las grasas vegetales de aceites y grasas animales. La colza, el girasol y la soja son las materias primas más utilizadas para este fin. En climas tropicales y subtropicales está proliferando el cultivo de una planta india, la jatrofa, un arbusto capaz de producir ingentes cantidades de aceite, que se puede transformar en biodiésel mediante el simple procedimiento de calentarlo y añadirle metanol. Esta planta presenta, además, una gran cantidad de ventajas. Por ejemplo, contrariamente a la soja y al maíz –las fuentes más comunes de biodiésel–, no es apta para el consumo humano ni animal, debido a su elevado grado de toxicidad y, sobre todo, su fruto –con forma de nuez y con tres semillas en su interior– produce cuatro veces más aceite que el maíz y diez veces más que la soja, un aceite con un bajo contenido en azufre, lo que hace que sea utilizable por los motores diésel más recientes. Además, tiene la capacidad de crecer en terrenos desérticos o baldíos –como los saturados por los pesticidas– y de regenerar el suelo, ya que genera una capa de manto fértil. En concreto produce 0,7 centímetros de sedimentos por año y hacen falta 10 centímetros para que la tierra sea cultivable. Por su dureza, capacidad regenerativa y resistencia a la falta de agua podría ser una planta ideal para los países subdesarrollados y, especialmente, para los del área subsahariana.

Las propiedades del biodiésel son parecidas a las del gasóleo de automoción en cuanto a densidad y número de cetanos. Además, presenta un punto de inflamación superior al gasóleo fósil. Gracias a estas características el biodiésel puede sustituir totalmente al gasóleo o ser mezclado en distintas proporciones con él para su uso en motores diésel-15.

El biodiésel se ha relacionado en ocasiones con la utilización de aceite vegetal puro como biocarburante, pero desde un punto de vista estricto el término biodiésel se refiere de forma exclusiva al éster metílico producido a partir de un aceite vegetal o animal, que cumple la norma UNE-EN-14.214.

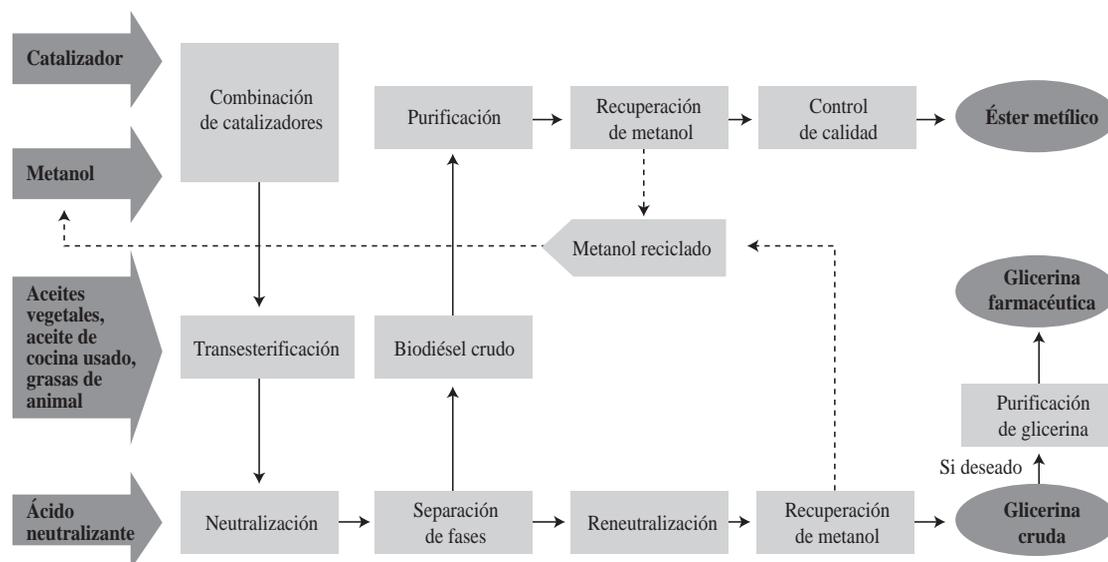
El aceite vegetal puro, por su parte, presenta similitudes con el gasóleo de origen fósil. Por ello permite su utilización en los motores diésel, si bien es necesario realizar modificaciones considerables en ellos.

El aceite esterificado posee una mayor similitud de propiedades con el gasóleo. El proceso de elaboración de este tipo de biodiésel está basado en la transesterificación de los ácidos grasos, utilizando un catalizador. En dicha reacción el aceite vegetal se esterifica con un alcohol (normalmente, metanol) en una proporción aproximada de 1/10 entre alcohol y aceite (1,1 kg. de metanol por cada 10 kg. de aceite). Tras la transesterificación se obtiene, por un lado, biodiésel crudo (éster metílico) y, por otro lado, glicerina cruda (1,1 kg. de glicerina por cada 10,05 kg. de biodiésel producido), aparte de compuestos ácidos grasos libres que pueden ser destilados. Los dos compuestos principales sufren un proceso de refinado antes de ser utilizables. El metanol obtenido tras estos procesos de refinado puede volver a utilizarse en la transesterificación de los compuestos de entrada (Gráfico 10).

El biodiésel elaborado a partir de aceites usados se produce a través de las fases de refinado de la materia prima, transesterificación para obtener éster metílico, depuración y secado. El principal problema de este método radica en los sistemas de recogida de los aceites usados.

Como coproducto de la producción de biodiésel se obtiene, por tanto, básicamente glicerol (glicerina), de calidades farmacéutica e industrial, y pastas jabonosas. De modo indirecto,

**Gráfico 10. Proceso de producción de biodiésel a partir de la esterificación de aceites**



Fuente: APPA

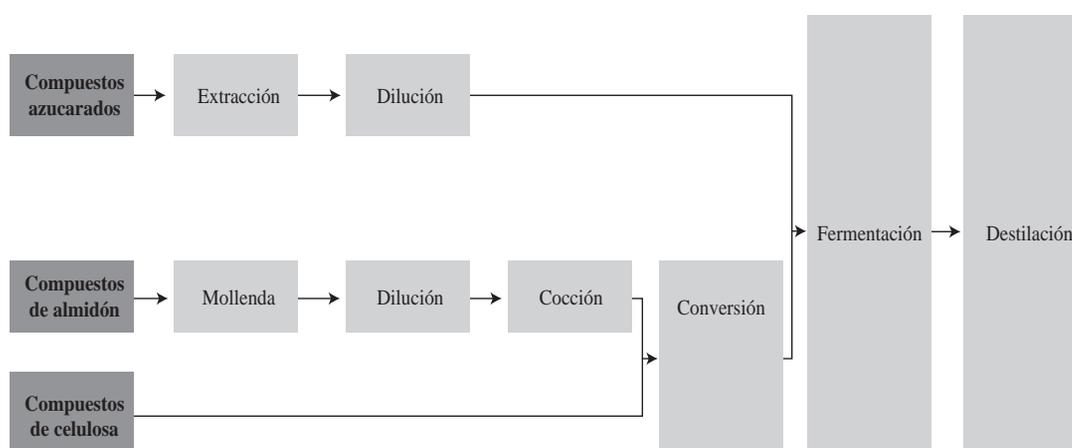
en la extracción del aceite vegetal usado como materia prima se obtiene también torta alimenticia de aplicación en los piensos animales. Estas glicerinas tienen un valor económico positivo y su comercialización forma parte de la rentabilidad del biodiésel.

### 3.2 Producción de bioetanol

El bioetanol se obtiene a partir de la remolacha (u otras plantas ricas en azúcares), de cereales, de alcohol vínico o de biomasa, mediante un proceso de destilación (Gráfico 11). En España la producción industrial emplea principalmente cereal como materia prima básica, con posibilidad de utilizar los excedentes de la industria remolachera transformados en jugos azucarados de bajo coste.

El producto obtenido puede utilizarse como alcohol puro o en mezclas, y también mediante su transformación en ETBE como elemento oxigenador añadido a las gasolinas. En Europa se ha optado por oxigenar las gasolinas con productos derivados de los alcoholes, tales como el ETBE y el MTBE. Éstos se obtienen por reacciones químicas de síntesis con etanol o metanol, respectivamente. Otra posible salida del bioetanol es su utilización como mezcla directa en gasolinas, aunque también existe la posibilidad de mezclarlo con el gasóleo.

**Gráfico 11. Proceso de producción de bioetanol**



Fuente: APPA

Las principales fases del proceso son:

- **Dilución:** es la adición del agua para ajustar la cantidad de azúcar en la mezcla o (en última instancia) la cantidad de alcohol en el producto. Es necesaria porque la levadura, usada más adelante en el proceso de fermentación, puede morir debido a una concentración demasiado grande del alcohol.
- **Conversión:** la conversión es el proceso de convertir el almidón/celulosa en azúcares fermentables. Puede ser lograda por el uso de la malta, extractos de enzimas contenidas en la malta, o por el tratamiento del almidón (o de la celulosa) con el ácido en un proceso de hidrólisis ácida.
- **Fermentación:** la fermentación alcohólica es un proceso anaeróbico realizado por las levaduras, básicamente. De la fermentación alcohólica se obtiene un gran número de productos, entre ellos el alcohol.
- **Destilación:** la destilación es la operación de separar, mediante calor, los diferentes componentes líquidos de una mezcla. Una forma de destilación, conocida desde la antigüedad, es la obtención de alcohol aplicando calor a una mezcla fermentada.

Los subproductos generados en la producción de bioetanol, así como su volumen, dependen en parte de la materia prima utilizada. En general se pueden agrupar en dos tipos:

- **Materiales lignocelulósicos:** tallos, bagazo, etc., correspondientes a las partes estructurales de la planta. En general se utilizan para valorización energética en cogeneración, especialmente para cubrir las necesidades energéticas de la fase de destilación del bioetanol, aunque también se puede vender el excedente a la red eléctrica (con precio primado).
- **Materiales alimenticios:** pulpa y DDGS18, que son los restos energéticos de la planta después de la fermentación y destilación del bioetanol. Tienen interés para el mercado de piensos animales por su riqueza en proteína y valor energético.

La caña de azúcar es la planta más aprovechable por el bagazo generado para su combustión y generación energética. La remolacha azucarera genera, por su parte, unas 0,75 ton de pulpa por tonelada de bioetanol producido.

La producción de bioetanol a partir de trigo o maíz genera en torno a 1,2 ton de DDGS por tonelada de bioetanol. En general, existen dos filosofías alimenticias en cuanto al empleo del DDGS. Cuando el pienso está en el 15% o menos de la dieta, el DDGS sirve como una fuente de proteína suplementaria. Cuando el pienso está en los niveles más altos (superior al 15% de la dieta de la materia seca) su papel primario es como fuente de energía. El DDGS

está compuesto de grasa –en un 10%-15%–, de fibra neutra detergente –en un 40%-55%–, de proteína de crudo (CP) –en un 30%-35%– y de ceniza en un 5%.

**Tabla 2. Plantas de producción de bioetanol en funcionamiento en España en 2005**

Plantas de bioetanol	Provincia	Capacidad (Tm/año)	Puesta en marcha
Ecocarburantes Españoles	Murcia	118.000	2000
Bioetanol Galicia	A Coruña	139.000	2002
Biocarburantes Castilla y León	Salamanca	158.000	Dic. 2005
<b>Total</b>		<b>415.000</b>	

Fuente: APPA

**Tabla 3. Plantas de producción de biodiésel en funcionamiento en España en enero de 2006**

Plantas de biodiésel	Provincia	Capacidad (Tm/año)	Puesta en marcha
Stocks del Vallés	Barcelona	6.000	2002
Bionor Transformac.	Álava	30.000	2003
Bionet Europa	Tarragona	50.000	2004
IDAE	Madrid	5.000	2004
Biodiésel Castilla-La Mancha	Toledo	13.000	Enero de 2005
Biodiésel Caparroso	Navarra	35.000	Enero de 2005
Bionorte	Asturias	5.000	Mayo de 2005
Biocarburantes Almadén	Ciudad Real	21.000	Noviembre de 2005
Gebiosa	Cantabria	150.000	Diciembre de 2005
Grup Ecològic Natural	Baleares	7.000	2005
<b>Total</b>		<b>322.000</b>	

Fuente: APPA

### 3.3 Capacidad de producción de biocombustibles en España

La Tabla 2 muestra las plantas españolas de producción de bioetanol en funcionamiento con su respectiva capacidad de producción.

Como muestra la Tabla 2, la capacidad productiva instalada en España en plantas de bioetanol a finales de 2005 es de unas 415.000 Tm/año. Sin embargo, si se tiene en cuenta que la planta de Salamanca entró en servicio muy a finales de 2005 y que, por tanto, su contribución en ese año ha sido prácticamente testimonial, la producción total de bioetanol en España en 2005 se estima en torno a las 257.000 Tm/año, es decir, algo menos de 164.000 tep.

Por lo que se refiere al biodiésel, la Tabla 3 contiene una relación de las plantas de producción que ya se han puesto en funcionamiento, con su respectiva capacidad de producción.

Como muestra la tabla anterior, la capacidad instalada en España en plantas de biodiésel a inicio de 2006 era de 322.000 Tm/año. Sin embargo, si se tiene en cuenta que algunas de estas plantas entraron en servicio muy a finales de 2005 y que, por tanto, su contribución ese año fue prácticamente testimonial, la producción total de biodiésel en España en 2005 apenas superó en el mejor de los casos las 150.000 Tm/año, es decir, unas 135.000 tep.

La venta a los consumidores finales de biocarburantes se encuentra en gran medida condicionada por una serie de factores:

- El primero de ellos es el precio del petróleo. Un precio elevado del petróleo mejora la competitividad de los biocarburantes en el mercado energético del transporte, siendo actualmente un factor limitante (techo) en su precio hacia el consumidor final.
- Otro factor clave es el de la fiscalidad de los hidrocarburos y biocarburantes. Cuanto mayor sea la de los primeros y menor la de los segundos, más competitivos serán los biocarburantes.
- Un tercer factor a tener en cuenta es el precio de las materias primas para la producción de biocarburantes. Al ser el mercado agrícola un mercado desvinculado del petrolífero, el acoplamiento de estos dos mercados en la producción de biocarburantes puede dar lugar a rápidas variaciones en la rentabilidad y, por tanto, de la competitividad de dichos combustibles, dada la diferente volatilidad de ambos mercados.

Aunque existe consenso respecto de la viabilidad de los biocarburantes y a su potencial de desarrollo, todavía se presentan muchas dudas y riesgos que no animan a los inversores a desarrollar completamente la capacidad de producción en España.

Las principales incertidumbres pueden catalogarse en cuatro apartados:

A) Incertidumbre sobre el tratamiento fiscal preferente a partir del 2012.

- La comercialización de biocarburantes está sometida al Impuesto de Ventas Minoristas de Hidrocarburos.
- Limitaciones al consumo doméstico de biocarburantes porque el tipo impositivo español es más bajo para combustibles fósiles.

B) Freno normativo

- Obligación de mantener reservas estratégicas. La obligación recae sobre el operador que introduce el carburante en el mercado de consumo –que normalmente es el último mayorista de la cadena o el importador–, lo que dificulta la expansión de las redes de distribución.
- Especificaciones técnicas. La aplicación de los requisitos del carburante fósil al biocarburante conlleva la imposibilidad de comercializar mezclas con más de un determinado porcentaje, que, en el caso del biodiésel, pasado el 15% o el 20% se obliga a comercializarlo puro, sin que haya razón objetiva para ello.
- Estudios inacabados sobre emisiones y rendimientos del biodiésel. Es un punto importantísimo para potenciar su utilización por parte de los fabricantes de vehículos y para adaptar la logística del suministro.

C) Dificultades asociadas a la obtención de materias primas

- Los productos vegetales alimentarios son caros y su precio fluctúa mucho.
- Los mercados internacionales (con un coste similar al europeo subvencionado) presentan el mismo problema que la fuente anterior (coste y fluctuación).
- Los cultivos energéticos comunitarios que reciben ayudas a las tierras de retirada no son del agrado del agricultor por su baja rentabilidad.
- Los aceites usados y la fracción biodegradable de otros residuos dependen del establecimiento de circuitos de recogida.

D) Falta de capacidad de la Compañía Logística de Hidrocarburos

- La Compañía Logística de Hidrocarburos no tiene capacidad de almacenamiento diferenciado para biocarburantes, lo que dificulta enormemente ponerlos a disposición del consumidor e impide el acceso al mercado de gran consumo.

### 3.4 Efectos medioambientales

Una de las principales ventajas competitivas de los biocarburantes son sus beneficios ambientales respecto de los combustibles fósiles. El hecho de que los costes asociados a los impactos ambientales sean de difícil cuantificación (externalización y difusión de la responsabilidad) explica que no sean plenamente incorporados al precio de los productos causantes. A modo de síntesis se pueden citar las siguientes propiedades de los biocarburantes a este respecto:

- No son tóxicos, carcinógenos o alérgicos.
- Son biodegradables.
- El biodiésel es muy estable durante el almacenamiento (el bioetanol es ligeramente inestable).
- No contienen azufre, por lo que su uso se ve potenciado por la Directiva 2003/17/CE (reducción de emisiones de azufre para 2009).
- Su origen elimina el riesgo inherente de la extracción de combustibles fósiles ante manipulaciones inadecuadas, fugas accidentales, etc.
- Mejoran la autosuficiencia energética regional y reducen la dependencia respecto del petróleo.
- Reducen significativamente las emisiones respecto de sus equivalentes fósiles en:
  - monóxido de carbono,
  - partículas,
  - hidrocarburos y NOx en el caso del bioetanol,
  - compuestos aromáticos,
  - óxidos de azufre,
  - dióxido de carbono.

El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) emitido a la atmósfera durante la combustión se compensa con el absorbido por la planta (materia prima) durante su etapa de crecimiento. Es relevante indicar, en relación con la reducción del resto de emisiones contaminantes, que

el uso de biocarburantes es especialmente importante en grandes ciudades (contaminación atmosférica concentrada).

A continuación se exponen de forma sintética los principales resultados del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) en relación con los biocarburantes. Hasta el momento se ha analizado la relación entre el balance energético y el CO<sub>2</sub> (cambio climático) de las alternativas consideradas, echándose en falta una mayor profundización en el resto de categorías de impacto existentes (si bien aquella es la más prioritaria en relación con Kioto). Well to Wheel Evaluation for Production of Etanol from Wheat<sup>1</sup>: en este estudio se analiza la producción de bioetanol a partir de trigo desde un enfoque de ACV, aunque restringiéndolo a las emisiones de CO<sub>2</sub> y al balance energético. Tiene en cuenta dos factores principales:

- el esquema de producción energética y térmica de la planta de producción,
- el uso de los subproductos: paja y DDGS.

Para el estudio, el bioetanol se consumía en mezcla al 5% con gasolina fósil y la materia prima (trigo) se cultivaba en tierra de retirada bajo rotación (barbecho). En relación con la evaluación de los subproductos (electricidad, DDGS) se utilizó la metodología de “impacto evitado” (impacto que se deja de hacer por la producción *per se* de dichos subproductos). Las conclusiones alcanzadas por este estudio son de una reducción de las emisiones brutas para los escenarios tipo “c” (utilizando la paja como combustible energético directamente en la planta) y una reducción neta en todos los escenarios (entre 5 y 60 puntos porcentuales) cuando se aprovecha el DDGS generado para producción energética o como fuente alimenticia (piensos).

Como principales conclusiones del estudio se pueden extraer las siguientes:

- Todos los escenarios muestran (ya al 5% de mezcla) menores emisiones que la gasolina, teniendo la tecnología productiva utilizada mucha influencia en el nivel de reducción finalmente alcanzado.
- La incorporación de ciclos combinados mejora la eficiencia ambiental del proceso.
- El uso energético de la paja no fermentable es un factor importante en el cómputo energético global.
- El uso energético del DDGS también es aconsejable.
- Al no ser un combustible fósil, parte del CO<sub>2</sub> liberado se fija en las plantas que producirán más biocombustible.

---

<sup>1</sup> Del Pozo a la Rueda. Evaluación del ciclo integral de producción del etanol obtenido del trigo.

## 4. Pila de combustible

El inevitable final de las reservas de petróleo y las dificultades para obtener en las próximas décadas energía abundante y limpia obligan a buscar combustibles alternativos. Los biocarburantes son una alternativa transitoria, pues el bioetanol sólo es un aditivo de la gasolina y el biodiésel un sustituto del diésel, pero no implican un cambio drástico de la tecnología, sólo un sustituto temporal. La pila de combustible (*fuel cell*) parece la solución más convincente.

Se trata en realidad de un proceso químico sencillo, inverso a la electrólisis del agua. En ella, mediante la aportación de energía, el agua se descompone en oxígeno e hidrógeno:



En la pila de combustible el proceso es el inverso. Si se aportan oxígeno e hidrógeno, en la pila de combustible se consigue que reaccionen y formen agua, liberando energía eléctrica, que se puede utilizar para, por ejemplo, hacer girar un motor:



Debe subrayarse que el hidrógeno, a diferencia de los hidrocarburos o de los biocarburantes, no es un combustible, es un vector, es decir, para que libere energía primero debe aportársela.

La teoría es sencilla, pero resulta difícil ponerla en práctica. La mayor dificultad es conseguir hidrógeno para sumar al oxígeno. Transportar hidrógeno en el coche es difícil, ya que puede explotar en contacto con el oxígeno del aire (reaccionan violentamente y liberan energía), por lo que se deben tomar precauciones especiales. Por este motivo, el hidrógeno resulta difícil de manipular y su almacenamiento no se realiza en estado puro. Además, a temperatura ambiente el hidrógeno se presenta en estado gaseoso y para transportarlo en estado líquido, es decir, en un volumen aceptable, se requieren bajísimas temperaturas o muy alta presión. Para distribuirlo, resulta necesario establecer una red de suministro que requiere grandes inversiones. No está claro, por tanto, cuándo estará disponible el hidrógeno como vector energético universal.

Por ello, algunas empresas involucradas en el desarrollo de la pila de combustible propugnan obtener el hidrógeno dentro del mismo coche, a partir de un combustible fósil como

gasolina u orgánico como el metanol. El que tiene más posibilidades de imponerse es la gasolina, pues los cambios de infraestructura serán mínimos y la reacción de las petroleras será mínima. Además, ésta sería la transición ideal hasta el agotamiento de la gasolina. Se pasaría de un entorno a otro de forma absolutamente suave, sea cuando sea el final de las reservas de gasolina. Las moléculas de los hidrocarburos se pueden disociar en hidrógeno y carbono (dióxido de carbono). El CO<sub>2</sub> se envía a la atmósfera (lo mismo que sucede ahora en los automóviles que queman gasolina). El hidrógeno, en cambio, no se convierte en agua hasta después de pasar por la pila de combustible, donde produce electricidad al reaccionar con el oxígeno. Este proceso para obtener hidrógeno a partir de hidrocarburos se denomina isomerización. Se continuaría enviando CO<sub>2</sub> a la atmósfera, es cierto, pero se facilitaría la transición desde una economía del petróleo a otra del hidrógeno. Muchas veces tan importante como la solución (hidrógeno) es la viabilidad del camino para su implantación. En cualquier caso, debe entenderse esta solución como transitoria.

Obtener hidrógeno a partir de un combustible como la gasolina evita la distribución y el almacenamiento de este gas explosivo, pero obliga a utilizar un amplio espacio en el vehículo para obtener hidrógeno. No sólo es espacio, también hay un problema de peso. Otro de los obstáculos es la necesidad de obtener combustibles sin presencia de azufre, objetivo que parece muy difícil de conseguir, porque los intereses de los fabricantes de automóviles y de las empresas petroleras no son exactamente los mismos.

Fabricantes como Daimler-Chrysler, Ford, Toyota, Honda, BMW, Renault, Opel... anuncian que venderán vehículos movidos por pila de combustible alimentados por gasolina para los

**Tabla 4. Selección de lanzamientos anunciados de vehículos con pila de combustible**

Fabricante	Año	Volumen	Observaciones
Daimler-Chrysler	2012	10.000	Lanzamiento inicial
	2015	-	Lanzamiento masivo
Ford	2015	-	Disponibilidad comercial
GM	2010-2015	-	Viabilidad comercial
	2025	-	Lanzamiento masivo
Honda	2010	12.000 (EE UU) 50.000 (EE UU)	Inicio de producción
Hyundai	2010	-	Test carretera 2009
Toyota	2015	-	Coste 50.000 dólares

Fuente: Fuente: Fuel Cells2000 y US Fuel Cell council

próximos años (2010-2012) (Tabla 4). Una vez resueltas las dificultades técnicas y de precio (las series pequeñas son caras), habrá que analizar las ventajas e inconvenientes en la utilización diaria del coche.

Según los responsables de Opel, que han mostrado un prototipo de Zafira alimentado por pila de combustible y con depósito para el hidrógeno en el interior del coche, la eficiencia del proceso de combustión es mayor con pila de combustible que con un motor normal, con ciclo de trabajo de cuatro tiempos, por lo que el consumo será menor, aunque los coches resulten más pesados.

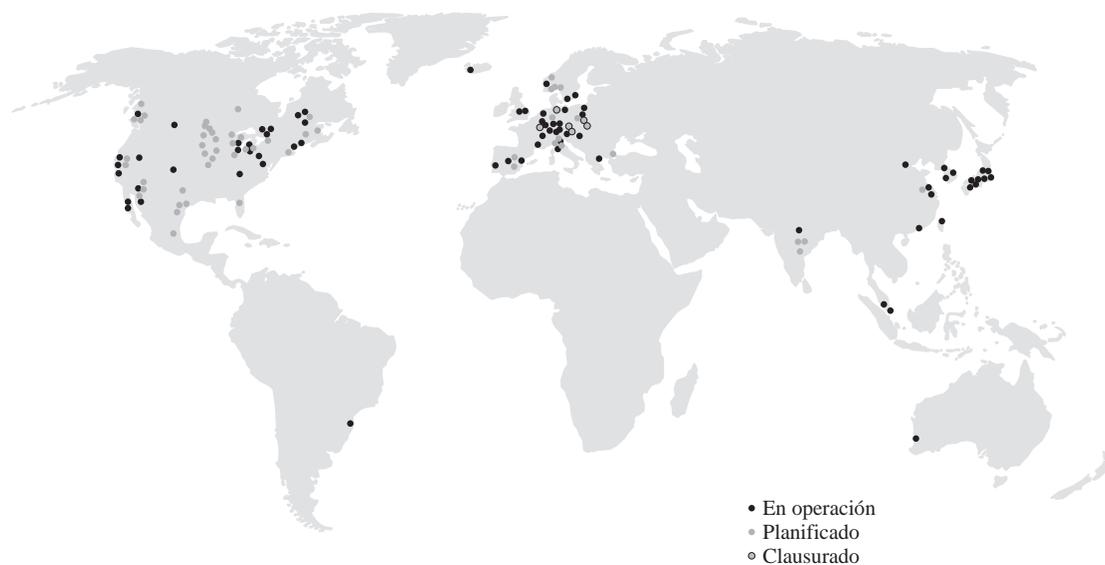
Finalmente, cuando el hidrógeno se pueda transportar y almacenar de forma eficiente y segura, se obtendrá la mayor de las ventajas, pues un sistema que utilice hidrógeno presentará una emisión nula de gases nocivos. La disponibilidad de infraestructura de abastecimiento de hidrógeno es fundamental para el desarrollo y popularización de este nuevo vector energético. Hasta la fecha el mapa de puntos de abastecimiento de hidrógeno en el mundo es tan limitado que existe un mapa mundial de puntos de abastecimiento que se actualiza permanentemente (Gráfico 12). El censo de estos puntos de abastecimiento ascendía a 140 a finales de 2006 y el número continúa creciendo.

De momento no se puede juzgar con detalle, pero parece claro que los inconvenientes derivarán de mayor necesidad de espacio para elementos mecánicos y de peso superior. Pero

---

### Gráfico 12. Puntos de abastecimiento regular de hidrógeno

---



---

Fuente: Fundación para el Hidrógeno

---

mover un coche mediante un motor eléctrico da una serie de posibilidades ilimitadas que permiten soñar con un futuro diferente. Hasta ahora estamos acostumbrados a coches con un motor de combustión interna como única fuente de energía del vehículo. Desde este motor se transmite el movimiento a un eje (anterior –tracción delantera– o posterior –tracción trasera–) o a ambos (vehículos 4x4), al igual que un alternador aprovecha parte de la energía para producir electricidad que alimenta los sistemas eléctricos y electrónicos del coche. Un coche realmente revolucionario en tecnología de pila de combustible sería aquél que almacenase o produjese hidrógeno en un punto del coche para producir electricidad y ésta alimentase a cuatro motores independientes, uno por rueda, así como a todos los sistemas eléctricos y electrónicos. Desaparecería así toda la transmisión de los coches y los cambios de marcha serían muchísimo más sencillos. A cambio, el coche necesitaría de nuevos circuitos de potencia eléctrica, así como acumuladores. Algo así sería una auténtica revolución en el mundo del automóvil. Muchas piezas se transformarían drásticamente o simplemente desaparecerían (cilindros, levas, válvulas, bomba de gasolina, bomba de aceite, cárter, cambio de marcha, radiador, calefacción...).

Las pilas de combustible van a gozar de un gran desarrollo en los próximos años, pues no sólo van a impulsar su desarrollo los vehículos automóviles, sino varias otras aplicaciones. Hasta la fecha se consideran tres tipos de pilas de combustible:

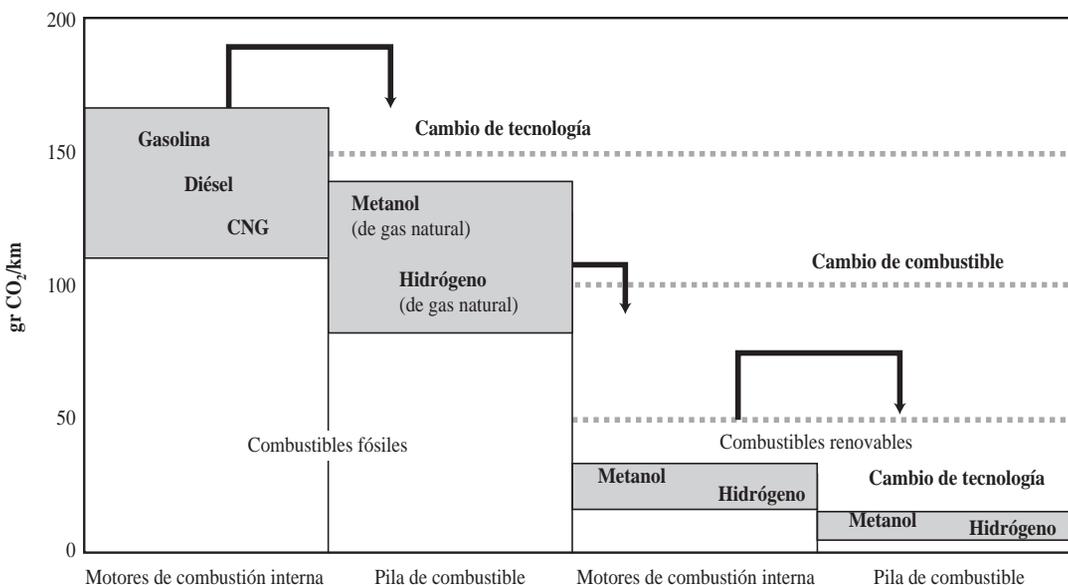
- **Portátiles.** Hoy en día ya existen aplicaciones militares muy relevantes que utilizan pilas de combustible y que están sirviendo, como suele ser habitual en la relación ciencia-ejército, como banco de pruebas acelerado. El ejército estadounidense está usando de forma continua prototipos de pilas de combustible portátiles de más de 1.000 vatios de potencia. Así mismo, fabricantes de electrónica de consumo están instalando en sus productos pilas de combustible miniaturizadas, así como nuevas generaciones de cargadores de baterías.
- **Fijas.** Las pilas de combustible fijas son las que se van a comercializar en el cortísimo plazo, pues no hay ningún problema en tener botellas de hidrógeno en un cuarto de máquinas para alimentar, por ejemplo, pilas de combustible que alimenten edificios completos. Así mismo, existen muchas fuentes tradicionales de combustible que se utilizan en la actualidad. Casi todas las compañías apuntan a su comercialización en fechas tan cercanas como 2007 ó 2008. En Japón se están comercializando pilas que actúan como fuente de energía de reserva en caso de corte de electricidad en rascacielos. En principio pueden reemplazar cualquier grupo de generación de electricidad autónomo con emisiones y ruido nulo. En Estados Unidos ya hay instaladas más de 1.000 pilas de combustible en nodos críticos de los sistemas de telecomunicaciones que no pueden interrumpir su disponibilidad. En San Francisco el servicio postal estadounidense dispone de una de las mayores pilas de combustible comerciales, de una potencia superior a los 250 kW, y en Vancouver varios centros públicos se climatizan con energía producida por pilas de combustible. De esta forma las administraciones dan ejemplo de buenos hábitos ecorresponsables y financian el desarrollo de la emergente industria de pilas de combustible. Pero la pila de com-

bustible puede ser un generador eléctrico muy eficiente, no sólo un generador de emergencia. Así, instalada en las casas, por ejemplo, permitiría eliminar los tendidos eléctricos de alta tensión, tan caros de mantener y en los que se producen muchas pérdidas de energía. Para el futuro, y hasta que se controle la codiciada fusión fría, la pila de combustible tiene un recorrido teórico impecable. ¿Se lo permitirán las petroleras y las compañías eléctricas?

- **Móviles.** En este campo el automóvil es el primer cliente y su desarrollo irá unido a la aceptación del mercado así como al arrojo de los fabricantes. No puede obviarse que, si se introduce en el mercado, la tecnología con un cierto grado de inmadurez, el retraso a su aceptación será enorme y, si desafortunadamente se produjese un accidente al que se le diese repercusión mediática, el parón del desarrollo se mediría en décadas más que en años.

Hoy en día la industria de las pilas de combustible es absolutamente emergente. En la actualidad hay unas 20 compañías en el mundo cotizadas en bolsa. De ellas nueve son de nacionalidad estadounidense, ocho canadienses, dos inglesas y una australiana. En 2005 facturaron globalmente unos 350 millones de dólares, invirtieron en I+D más del doble (800 millones), perdieron el doble de lo que facturaron (700 millones) y tienen un valor en bolsa más de catorce veces su facturación (5.000 millones). En esta industria emergente ya destacan varios actores sobre los otros. El primero, la canadiense Ballard, factura el 35% del total de la industria, y los cinco primeros (Ballard, Fuel Cell Energy, Quantum Fuel Sys-

**Gráfico 13. Reducción de CO<sub>2</sub> por cambios tecnológicos y de combustible**



Fuente: Fuel source shift- Iseberg, Edinger

tems, Distributed Energy Systems, Dynatek Industries) significan el 80% de la facturación. Entre los grupos multiactividad que investigan en estos equipos destacan Siemens, General Electric, Rolls Royce, General Motors, Nippon Steel, NTT y Mitsubishi. Finalmente cabe destacar MTU CFC Solutions, una alianza entre Daimler-Chrysler y la eléctrica RWE que tiene en servicio una planta de generación cuya fuente es biogás. No deja de sorprender que entre las empresas de referencia no haya ninguna, no ya de origen español, sino ni siquiera de la Europa Continental (salvo Siemens y MTU CFC). Y esta es una tecnología “telegrafada” desde hace años, todos los analistas hablan de la pila de combustible como el futuro, pero parece que Europa no cree en este futuro. Hasta en Brasil nos encontramos con una empresa impulsada por su gobierno (Electrocell).

La combinación de fuentes renovables y pila de combustible puede ser la solución para reducir drásticamente las emisiones de gases de efecto invernadero en el transporte.

Las pilas de combustible ofrecen muchas ventajas respecto de los sistemas tradicionales de producción de energía:

- Alta eficiencia energética: las pilas de combustible no son máquinas térmicas, por lo que su rendimiento no está limitado por el ciclo de Carnot, pudiendo acercarse teóricamente al 100%. Sólo las limitaciones en el aprovechamiento de la energía generada y en los materiales empleados en su construcción impiden alcanzar este valor.
- Bajo nivel de contaminación medioambiental: al estar sustituida la combustión a alta temperatura de combustibles fósiles por una reacción electroquímica catalizada entre el hidrógeno y el oxígeno, no existe emisión de gases contaminantes (óxidos de nitrógeno y azufre, hidrocarburos insaturados, etc.), con lo que el impacto sobre el medio ambiente es mínimo. Es éste quizás el aspecto más atractivo de las pilas de combustible.
- Carácter modular: la disponibilidad de las pilas de combustible como módulos independientes supone una ventaja adicional, ya que un cambio de escala en la potencia requerida se consigue fácilmente mediante la interconexión de módulos.
- Flexibilidad de operación: una pila de combustible puede funcionar a alto rendimiento y sin interrupción en un amplio rango de potencias suministradas. Además, pueden realizarse variaciones rápidas de potencia; por ejemplo, es posible aumentar la potencia de una pila de combustible en un 10% en tan sólo un segundo. En contraste, los sistemas convencionales son muy inflexibles, debiéndose mantener la carga de combustible siempre por encima del 80% para garantizar una correcta operación.
- Admisión de diversos combustibles: cualquier combustible es apto para ser reformado, con tal de que incluya hidrógeno en su composición. Han sido empleados con éxito combustibles tan dispares como el gas natural, el gasóleo, el carbón gasificado o el metanol. El uso de unos u otros determinará, lógicamente, el balance total de CO<sub>2</sub>, pero

en cualquier caso su uso en pilas de hidrógeno con fases de reformado es muchísimo más eficiente energéticamente que en motores de combustión interna.

- Funcionamiento silencioso: se ha estimado que el nivel de ruido a 30 metros de una pila de combustible de tamaño medio es de tan sólo 55 decibelios. Ello sugiere el uso de estos dispositivos para la generación de energía en recintos urbanos.
- Bajo impacto estético: al no existir tubos de emisión de gases ni torres de refrigeración, el impacto visual de una planta de producción de energía basada en pilas de combustible es mínimo. Se ha llegado incluso a proponer su integración en edificios residenciales.
- Fiabilidad: los sistemas informáticos de control permiten automatizar el funcionamiento de una pila de combustible, siendo mínima la intervención manual requerida.
- Sencillez de instalación: las obras de infraestructura son prácticamente innecesarias.

Frente a estas ventajas evidentes, el empleo de pilas de combustible como fuente de energía eléctrica presenta algunas desventajas:

- Tecnología emergente: determinados problemas aún no resueltos afectan al funcionamiento de las pilas de combustible, especialmente en lo que respecta a su vida útil, lo que repercute en su comercialización.
- Alto coste: al tratarse de una tecnología en desarrollo y al existir todavía una baja demanda de unidades, su precio no puede, hoy en día, competir con el de las tecnologías convencionales. Es de esperar que, conforme la demanda se incrementa, los precios se vayan equiparando.
- Sensibilidad hacia los venenos catalíticos: los electrodos empleados incorporan catalizadores para favorecer el desarrollo de las reacciones electroquímicas. El contacto de estas sustancias con los llamados venenos catalíticos, tales como el monóxido de azufre o los compuestos de azufre, provoca su inactivación irreversible. En la actualidad se trabaja en la sustitución de estos catalizadores por materiales más resistentes.

La pila de combustible es el futuro de la generación de energía eléctrica distribuida tanto para vehículos como para equipamientos. No es difícil imaginar urbanizaciones, ya que nuestra economía la mueve el ladrillo, cuya energía se obtenga de placas fotovoltaicas suplementadas por pilas de combustible que usen bioetanol.

## 5. Coches híbridos y otras alternativas posibles

Biocarburantes y pila de combustible son las soluciones de futuro más claras y que concitan un mayor consenso, pero hay más alternativas, lo cual en ocasiones puede provocar cierta confusión.

Para ordenarlas, repasemos los principales conceptos básicos:

- **Motores de combustión interna.** Son los motores actuales que en sus versiones Otto (gasolina) y diésel dominan el mercado de la automoción desde hace más de cien años. Estos motores lógicamente han evolucionado muchísimo en todos estos años y sus prestaciones y consumo nada tienen que ver con el pasado. Los motores diésel, por su bajo consumo, son los que menos emisiones producen. Pero, curiosamente, tienen fuertes barreras culturales para los clientes, en especial fuera de Europa. Estos motores, además de mejorar su eficiencia y reducir sus emisiones, pueden evolucionar para consumir otro tipo de combustibles: bioetanol, los de gasolina, bio-diésel, los diésel, u otras alternativas, como gas natural, butano, GLP o incluso hidrógeno. Por tanto, los motores actuales pueden evolucionar hacia motores que usen combustibles alternativos.
- **Flexi fuel.** Se trata de coches cuya mecánica está preparada para usar más de un combustible. En la actualidad existen coches que pueden usar gasolina, etanol e hidrógeno indistintamente, siendo el Volvo Multifuel, basado en el Volvo V50, el coche más versátil hasta la actualidad, pues es capaz de circular con gasolina, bioetanol (E85), gas natural, biometano o hitano (una mezcla de gas natural y metano).
- **Carbón líquido.** Es posible fabricar “gasoil” mediante el procedimiento indirecto (Fischer-Tropsch) de gasificar y licuar carbón, allá donde es abundante como en Sudáfrica, donde el 30% de la “gasolina” que usan los vehículos tiene esta procedencia. Los precios altos del petróleo la hacen cada vez más rentable. Es un diésel bastante más limpio en subproductos del azufre que el normal extraído del petróleo, pero la pega es que en el balance final emite el doble de CO<sub>2</sub> que la gasolina normal. Por eso, para su viabilidad política en Occidente parece necesario desarrollar los procesos de recogida del CO<sub>2</sub> creado. Los sistemas de licuefacción directa e indirecta del carbón fueron ideados por los alemanes en los años veinte del siglo pasado y utilizados en el III Reich. El 90% del queroseno de la Luftwaffe procedía de la licuefacción del carbón. También

se ha desarrollado un sistema para obtener un carbón líquido válido para los motores Otto.

- **Pilas de combustible.** Mediante un proceso de electrólisis inversa generan electricidad utilizando hidrógeno. El hidrógeno se puede cargar directamente en el depósito del coche, pero también se puede producir mediante un proceso llamado rectificado. En este caso, el combustible es cualquier hidrocarburo rico en hidrógeno: gasolina, diésel, biometanol, bioetanol, gas natural, etc.
- **Coches eléctricos.** El motor es eléctrico y la fuente de energía puede ser externa, fundamentalmente carga de baterías, o interna, pila de combustible.
- **Coches híbridos.** Llevan dos tipos de motores normalmente, uno de combustión interna y otro eléctrico. Los dos mueven el vehículo, pero en momentos y circunstancias distintos. El motor eléctrico suele emplearse para arrancar el coche e, idealmente, el motor de combustión interna sólo se usaría de apoyo y para recargar las baterías en las deceleraciones y frenado. No sólo se reduce el consumo y la emisión de CO<sub>2</sub>, sino que se pueden conseguir prestaciones espectaculares por la combinación de los dos motores.

Los coches eléctricos puros parece que no tienen un gran futuro, porque los acumuladores no se han desarrollado suficientemente y la autonomía es limitada. Además, requerirían no sólo un cambio profundo de infraestructuras, sino, y sobre todo, un cambio de hábitos. Los conductores deberían cargar el coche por la noche para usarlo por el día (como el teléfono móvil) pues la tecnología de acumuladores de gran capacidad y de carga rápida está lejos de su industrialización.

Pero los coches híbridos están gozando de una creciente popularidad, en especial en mercados donde el diésel no es popular. Así, los vehículos híbridos nacieron en Japón para dar respuesta a las necesidades de reducción de emisiones y se están imponiendo en Estados Unidos, por el mismo motivo, pero también para suplementar la potencia de los motores.

En esencia un coche híbrido lleva dos motores, uno de combustión interna de gasolina o diésel y otro eléctrico. En principio, el motor eléctrico funciona a baja velocidad, en especial en atascos y al aparcar. El de combustión interna a velocidades mayores. En el ciclo del motor de combustión interna se aprovecha para recargar los acumuladores, en especial en el frenado y las aceleraciones en cuesta. Esta tecnología permite reducir hasta un 40% las emisiones de potencias similares de motores de combustión interna, pero también ofrecer una curva de par de potencia muy estable (los motores eléctricos presentan un par constante en todo régimen de revoluciones). Así se consiguen prestaciones elevadísimas con consumos contenidos.

Aunque hoy es una tecnología emergente y con pocos vehículos en circulación, se espera un crecimiento espectacular. Así, se pasará de una cuota de menos del 1% actual en Estados Unidos a más del 3% en 2009, con unas ventas superiores a los 500.000 vehículos en ese mercado. Para hacerlo posible, están previstos numerosos lanzamientos en los próximos años. Se pasará rápidamente de la situación actual, con sólo dos fabricantes japoneses –Toyota, con el Prius, y Honda, con los modelos Civic IMA e Insight– y uno estadounidense –Ford, con su todoterreno Escape Híbrido–, a una auténtica eclosión con lanzamientos como el Honda Accord Híbrido, el Chevrolet Silverado o el Lexus RX 400H. Los analistas estiman que en 2008 coexistirán en el mercado estadounidense 28 modelos propulsados por este sistema; 18 de ellos todoterrenos y los otros 10 turismos.

La lista de prototipos, pero también de modelos operativos, es cada vez más numerosa. La Tabla 5 no pretende ser, ni mucho menos, exhaustiva.

Recoge la siguiente información:

- *Automaker*: fabricante del automóvil.
- *Vehicle type*: modelo.
- *Year shown*: año de presentación.
- *Engine type*: tipo de motor.
- *Fuell cell size/type*: tamaño y tipo de célula de combustible.
- *Fuel cell mfr.*: fabricante de la célula de combustible.
- *Range (mi/km)*: autonomía (en millas y kilómetros).
- *MPG equivalent*: millas por galón equivalente (cuando se aplica).
- *Max. speed*: velocidad máxima.
- *Fuel type*: tipo de combustible.
- *Comercial intro*: fecha prevista para el lanzamiento comercial.

**Tabla 5. Automóviles con propulsión alternativa a los derivados del petróleo (Continúa...)**

Automaker	Vehicle type	Year shown	Engine type	Fuel cell size/type	Fuel cell mfr.	Range (mi/km)	MPG equivalent	Max. speed	Fuel type	Commercial intro.
Audi	A2	2004	Fuel cell/battery hybrid	66 kW/ PEM	Ballard	220 km	N/a	175 km/h	Gaseous hydrogen	-
BMW	Series 7 (745 h) (Sedan)	2000	ICE (fuel cell APU)	5 kW/ PEM	UTC	180 mi 300 km	N/a	140 mph	Gasoline/Liquid hydrogen	Limited intro in 2000 (Munich Airport Hydrogen Vehicle Project)
Daihatsu	MOVE FCV – K II (mini vehicle)	2001	Fuel cell/battery hybrid	30 kW/ PEM	Toyota	75 mi 120 km	N/a	65 mph 105 km/h	Compress. Hydrogen @ 3600 psi	Previous model used methanol. Japan road testing started in early 2003
Daimler-Chrysler	NECAR 1 (180 van)	1994	12 fuel cell stacks	50 kW/ PEM	Ballard	81 mi 130 km	N/a	56 mph/ 90 km/h	Compress.hydrogen @ 4300 psi	-
	NECAR 2 (V-Class)	1996	Fuel cell	50 kW/ PEM	Ballard	155 mi 250 km	N/a	68 mph 110 km/h	Compress. Hydrogen @ 3600 psi	-
	NECAR 3 (A-Class)	1997	2 fuel cell stacks	50 kW/ PEM	Ballard Mark 700 Series	250 mi 400 km	N/a	75 mph 120 km/h	10.5 gal. Of Liquid methanol	First methanol reforming FCV
	NECAR 4 (A-Class)	1999	Fuel cell	70 kW/ PEM	Ballard Mark 900 Series	280 mi 450 km	N/a	90 mph 145 km/h	Liquid hydrogen	-
	Jeep Commander 2 (SUV)	2000	Fuel cell/90 kW battery hybrid	50 kW/ PEM	Ballard Mark 700 Series	118 mi 190 km	24 mpg (gasol. equiv.)	N/a	Methanol	Jeep Commander 1 came out in 1999.
	NECAR 4 – Advanced (California NECAR)	2000	Fuel cell	85 kW/ PEM	Ballard Mark 900 Series	124 mi 200 km	53.46 mpg equiv. (CaFCP est.)	90mph 145 km/h	4 lbs (1.8 kg) of Compress hydrogen @ 5.000 psi	-

Fuente: Fuel Cells2000 y US Fuel Cell council

**Tabla 5. Automóviles con propulsión alternativa a los derivados del petróleo (Continúa...)**

Automaker	Vehicle type	Year shown	Engine type	Fuel cell size/type	Fuel cell mfr.	Range (mi/km)	MPG equivalent	Max. speed	Fuel type	Commercial intro.
	NECAR 5 (A-class)	2000	Fuel cell	85 kW/ PEM	Ballard Mark 900 Series	280 mi 450 km	N/a	95 mph 150 km/h	Methanol	-
	NECAR 5.2 (A-class)	2001	Fuel cell	85 kW/ PEM	Ballard Mark 900 Series	300 mi 482 km	N/a	95 mph 150 km/h	Methanol	Awarded a road permit for Japanese roads. Completed CA-DC drive.
	Sprinter (van)	2001	Fuel cell	85 kW/ PEM	Ballard Mark 900 Series	93 mi 150 km	N/a	75 mph 120 km/h	Compress. Hydrogen @ 5.000 psi	Delivered to Hermes as part of the W.E.I.T. hydrogen project, also used by UPS
	Natrium (Town & Country Mini Van)	2001	Fuel cell/(40 kW) battery hybrid	54 kW/ PEM	Ballard Mark 900 Series	300 mi 483 km	30 mpg equiv.	80 mph 129 km/h	Catalyzed chemical hydride-Sodium Borohydride	Uses Millennium Cell's "Hydrogen on Demand" system with a 53 gallon fuel tank
	F-Cell (A-class)	2002	Fuel cell/ battery hybrid	85 kW/ PEM	Ballard Mark 900 Series	90 mi 145 km	56 mpg equiv.	87 mph 140 km/h	4 lbs. (1.8 kg) of Compress hydrogen @ 5.000 psi	60 fleet vehicles in US, Japan, Singapore, and Europe started in 2003 - small fleet in Michigan operated by UPS.
	Jeep Treo	2003	Fuel cell	N/a	N/a	N/a	N/a	N/a	N/a	Unveiled at Tokyo Motor Show drive by wire technology
Esoro	Hycar	2001	Fuel cell/ battery hybrid	6.4 kW/ PEM	Nuvera	224 mi 360 km	N/a	75 mph 120 km/h	Compress. Hydrogen	Switzerland's first FCV
Fiat	Seicento Elettra H2 Fuel Cell	2001	Fuel cell/ battery hybrid	7 kW/ PEM	Nuvera	100 mi 140 km	N/a	60 mph 100 km/h	Compress. Hydrogen	-

Fuente: Fuel Cells2000 y US Fuel Cell council.

**Tabla 5. Automóviles con propulsión alternativa a los derivados del petróleo (Continúa...)**

Automaker	Vehicle type	Year shown	Engine type	Fuel cell size/type	Fuel cell mfr.	Range (mi/km)	MPG equivalent	Max. speed	Fuel type	Commercial intro.
	Seicento Elettra H2 Fuel Cell	2003	Fuel cell/ battery hybrid	N/a	Nuvera	N/a	N/a	N/a	Compress. Hydrogen	Being investigated for use in Milan, Italy.
Ford Motor Company	P 2000 HFC (sedan)	1999	Fuel cell	75 kW/ PEM	Ballard Mark 700 Series	100 mi 160 km	67.11 mpg equiv. (CaFCP est.)	N/a	Compress hydrogen	First FCV by Ford
	Focus FCV	2000	Fuel cell	85 kW/ PEM	Ballard Mark 900 Series	100 mi 160 km	N/a	80 mph 128 km/h	Compress. hydrogen @ 3.600 psi	-
	THINK FC5	2000	Fuel cell	85 kW/ PEM	Ballard Mark 900 Series	N/a	N/a	80 mph 128 km/h	Methanol	-
	Advanced Focus FCV	2002	Fuel cell/ battery hybrid	85 kW/ PEM	Ballard Mark 900 Series	180 mi 290 km	~50 mpg equiv.	N/a	8.8 lb (4 kg) Compress. H2 @ 5.000 psi	3 year demonstration in Vancouver beginning late 2004. 30 fleet vehicles in Sacramento, Orlando and Detroit
	Explorer	2006	Fuel cell/ battery hybrid	60 kW/ PEM	Ballard	350 mi 563 km	35 mpg	N/a	10 kg hydrogen at 700 bar	-
GM	Sintra (mini-van)	1997	Fuel cell	50 kW/ PEM	N/a	N/a	N/a	N/a	N/a	Wants to be 1st automaker to sell 1 million FCVs profitably
Hydrogenics works with GM on FC development	Zafira (mini-van)	1998	Fuel cell	50 kW/ PEM	Ballard	300 mi 483 km	80 mpg equiv.	75 mph 120 km/h	Methanol	GM has ceased efforts regarding methanol (2001)

Fuente: Fuel Cells2000 y US Fuel Cell council

**Tabla 5. Automóviles con propulsión alternativa a los derivados del petróleo (Continúa...)**

Automaker	Vehicle type	Year shown	Engine type	Fuel cell size/type	Fuell cell mfr.	Range (mi/km)	MPG equivalent	Max. speed	Fuel type	Commercial intro.
	Precept FCEV Concept only	2000	Fuel cell/battery hybrid	100 kW/ PEM	GM	500 mi 800 km (est.)	108 mpg equiv. (est.)	120 mph 193 km/h	Hydrogen (stored in metal hydride)	These are concept projections
	HydroGen 1 (Zafira van)	2000	Fuel cell/battery hybrid	80 kW/ PEM	GM	250 mi 400 km	N/a	90 mph 140 km/h	16 gal. of Liquid hydrogen	-
	HydroGen 1 (zafira van)	2001	Fuel cell	94 kW/ PEM	GM	250 mi 400 km	N/a	100 mph 160 km/h	Liquid hydrogen	Being used by FEDEC Corp. In Yokio, Japan from 6/2003 - 6/2004
	Chevy S-10 (pickup truck)	2001	Fuel cell/battery hybrid	25 kW/ PEM	GM	240 mi 386 km	40mpg	70 mph	Low sulfur. Clean gasoline (CHF)	GM has partnership with Toyota on reforming
	AUTOonomy	2002	Fuel cell	N/a	N/a	N/a	Projected 100 mpg	N/a	N/a	GM's 2010 FCV concept Freedom of Design
	Hy-Wire Proof of Concept	2002	Fuel cell	94 kW/ PEM	GM	80 mi 129 km	~41 mpg (gas equiv.)	97 mph 160 km/h	4.4 lbs.(2 kg) Compress. H2 @ 5,000 psi	Uses HydroGen3's powertrain, so range & mpg theoretically could = HydroGen3
	Advanced Hydro Gen 3 (Zafira van)	2002	Fuel cell	94 kW/ PEM	GM	170 mi 270 km	~55 mpg (gas equiv.)	~100 mph 160 km/h	6.8lbs. (3.1kg) Compress.h2 @ 10,000 psi	1st Fcv to incorporate 10,000 psi tanks (by Quantum). 6 placed in Washington DC.
	Diesel Hybrid Electric Military truck	2003	Fuel cell/APU	5 kW/ PEM	Hydrogenics	N/a	N/a	N/a	Low pressure metal hydrides	Turbo diesel ICE/battery hybrid with PEM FC APU.
	Sequel	2005	Fuel cell/battery hybrid	73 kW/ PEM	GM	300 mi	N/a	N/a	8Kg Compress.h2 @ 10,000 psi	-

Fuente: Fuel Cells2000 y US Fuel Cell council.

**Tabla 5. Automóviles con propulsión alternativa a los derivados del petróleo (Continúa...)**

Automaker	Vehicle type	Year shown	Engine type	Fuel cell size/type	Fuel cell mfr.	Range (mi/km)	MPG equivalent	Max. speed	Fuel type	Commercial intro.
GM (Shanghai) PATAC	Phoenix (Mini van)	Oct. 2001	Fuel cell/ battery hybrid	25 kW/ PEM	Shanghai GM	125 mi 200 km	N/a	70 mph 113 km/h	Compress. hydrogen	Seventh FCV Prototype out of China
Honda	FCX-V1	1999	Fuel cell/ battery hybrid	60 kW/ PEM	Ballard Mark 700 Series	110 mi 177 km	N/a	78 mph 130 km/h	Hydrogen (stored in metal hydride)	-
	FCX-V2	1999	Fuel cell	60 kW/ PEM	Honda	N/a	N/a	78 mph 130 km/h	Methanol	Honda has strict focus on pure hydrogen FCVs (2001)
	FCX-V3	2000	Fuel cell/Honda ultra capacitors	62 kW/ PEM	Ballard Mark 700 Series	108 mi 173 km	N/a	78 mph 130 km/h	26 gal. of Compress hydrogen at 3600 psi	-
	FCX-V4	2001	Fuel cell/Honda ultra capacitors	85 kW/ PEM	Ballard Mark 900 Series	185 mi 300 km	~50 mpg (gas equiv.)	84 mph 140 km/h	130 L (3.75 kg) Compress H2 @ 5.000 psi	Completed Japanese road testing - 1st FCT to receive CARB & EPA emission certs.
	FCX	2002	Fuel cell/Honda ultra capacitors	85 kW/ PEM	Ballard Mark 900 Series	220 mi 355 km	~50 mpg (gas equiv.)	93 mph 150 km/h	156.6 L Compress hydrogen @ 5000 psi	Have 4 in Japan, 5 in L.A., 3 in San Francisco
	Kiwami concept	2003	Fuel cell	N/a	N/a	N/a	N/a	N/a	Hydrogen	Unveiled at Tokio Motor Show
	FCX concept vehicle	2006	Fuel cell	100 kW/ PEM	da	570 km	N/a	160 km/h	Compress. hydrogen	Limited marketing of a fuel cell vehicle based on this concept model is to begin in 2008 in Japan and the U.S.
Hyundai	Santa Fe SUV	2000	Ambient-pressure Fuel cell	75 kW/ PEM	UTC Fuel Cells	100 mi 160 km	N/a	77 mph 124 km/h	Compress. hydrogen	-

Fuente: Fuel Cells2000 y US Fuel Cell council.

**Tabla 5. Automóviles con propulsión alternativa a los derivados del petróleo (Continúa...)**

Automaker	Vehicle type	Year shown	Engine type	Fuel cell size/type	Fuel cell mfr.	Range (mi/km)	MPG equivalent	Max. speed	Fuel type	Commercial intro.
Santa Fe SUV	2001	Ambient-pressure Fuel cell	75 kW/ PEM	UTC Fuel Cells	250mi/402km	N/a	N/a	Compress. hydrogen		-
	Tucson	2004	Fuel cell	80 kW/ PEM	UTC Fuel Cells	300 km	N/a	150 km/h	Compress. hydrogen	Will demonstrate 32 Tucson FCVs under DOE's Hydrogen Fleet and Infrastructure Demonstration and Validation Project by 2009
Kia	Sportage	2004	Fuel cell	80 kW/ PEM	UTC Fuel Cells	300 km	N/a	150 km/h	Compress. hydrogen	-
Mazda	Dernio (compact passenger car)	1997	Fuel cell/ ultra capacitor hybrid	20 kW/ PEM	Mazda	106 mi/170 km	N/a	60 mph/90 km/h	Hydrogen (stored in metal hydride)	-
	Premacy FC-EV	2001	Fuel cell	85 kW/ PEM	Ballard Mark 900 Series	N/a	N/a	77 mph/124 km/h	Methanol	Awarded road permit for Japanese roads in 2001 - undergoing public road testing
Mitsubishi	SpaceLiner Concept only	2001	Fuel cell/ battery hybrid	40 kW/ PEM	N/a	N/a	N/a	N/a	Methanol	
	Grandis FCV (mina-van)	2003	Fuel cell/ battery hybrid	68 kW/ PEM	Daimler Chrysler/ Ballard	92 mi/150 km	N/a	87 mph/140 km/h	Compress. Hydrogen	
Nissan	R'nessa (SUV)	1999	Fuel cell/ Battery hybrid	10 kW/ PEM	Ballard Mark 700 Series	N/a	N/a	44 mph/70 km/h	Methanol	Partnership with Renault for gasoline fueled FCV until 2006

Fuente: Fuel Cells2000 y US Fuel Cell council.

**Tabla 5. Automóviles con propulsión alternativa a los derivados del petróleo (Continúa...)**

Automaker	Vehicle type	Year shown	Engine type	Fuel cell size/type	Fuel cell mfr.	Range (mi/km)	MPG equivalent	Max. speed	Fuel type	Commercial intro.
Made prototypes w/ each fuel cell stack	Xierra (SUV)	2000/2001	Fuel cell/battery hybrid	85 kW/ PEM	Ballard Mark 900 Series & UTC Fuel Cells	100 mi 161 km	N/a	75 mph 120 km/h	Compress. hydrogen	Will begin driving trials in California and Arizona.
	X-TRAIL (SUV)	2002	Fuel cell/battery hybrid	75 kW/ PEM	UTC Fuel Cells (Ambient-pressure)	N/a	N/a	78 mph 125 km/h	Compress hydrogen @ 5.000 psi	Approved for Japanese Public road testing – 3 leased to Japanese gov.
	Effs (commuter concept)	2003	Fuel cell/battery hybrid	N/a	N/a	N/a	N/a	N/a	N/a	Unveiled at Tokyo Motor Show
PSA Peugeot Citroën	Peugeot Hydro -Gen	2001	Fuel cell/battery hybrid	30 kW/ PEM	Nuvera	186 mi 300 km	N/a	60 mph 95 km/h	Compress. hydrogen	-
	Peugeot Fuel Cell Cab +Taxi PAC	2001	Fuel cell/battery hybrid	55 kW/ PEM	H Power	188 mi 300 km	N/a	60 mph 95 km/h	80 Liters Compress. Hydrogen @ 4300 psi	-
	H2O fire-fighting Concept only	2002	Battery fuel cell APU	N/a	N/a	N/a	N/a	N/a	Catalyzed chemical hydride – Sodium Borohydride	Uses Millennium Cell's "Hydrogen on Demand" system
Renault	EU FEVER Project (laguna wagon)	1997	Fuel cell/battery hybrid	30 kW/ PEM	Nuvera	250 mi 400 km	N/a	75 mph 120 km/h	Liquid hydrogen	Partnership with Nissan on gasoline fueled FCV
Suzuki	Covie Concept only	2001	Fuel cell	N/a	GM	N/a	N/a	N/a	N/a	-
	Mobile Terrace	2003	Fuel cell	N/a	GM	N/a	N/a	N/a	Hydrogen	Unveiled at Tokyo Motor Show

Fuente: Fuel Cells2000 y US Fuel Cell council

**Tabla 5. Automóviles con propulsión alternativa a los derivados del petróleo**

Automaker	Vehicle type	Year shown	Engine type	Fuel cell size/type	Fuell cell mfr.	Range (mi/km)	MPG equivalent	Max. speed	Fuel type	Commercial intro.
Toyota	RAV 4 FCEV (SUV)	1996	Fuel cell/ battery hybrid	20 kW/ PEM	Toyota	155 mi 250 km	N/a	62 mph 100 km/h	Hydrogen (stored in metal hydride)	-
	RAV 4 FCEV (SUV)	1997	Fuel cell/ battery hybrid	25 kW/ PEM	Toyota	310 mi 500 km	N/a	78 mph 125 km/h	Methanol	-
	FCHV-3 (Kluger V Highlander SUV)	2001	Fuel cell/ battery hybrid	90 kW/ PEM	Toyota	186 mi 300 km	N/a 150km/h	93 mph	Hydrogen (stored in metal hydride)	-
	FCHV-4 (Kluger V Highlander SUV)	2001	Fuel cell/ battery hybrid	90 kW/ PEM	Toyota	155 mi 250 km	N/a	95 mph 152 km/h	Compress hydrogen @ 3.600 psi	Completed Japanese road testing
	FCHV-5 (Kluger V Highlander SUV)	2001	Fuel cell/ battery hybrid	90 kW/ PEM	Toyota	N/a	N/a	N/a	Low sulfur/clean gasoline (CHP)	Partnered with GM on gasoline CHP reforming technology
VW	FCHV (Kluger V Highlander SUV)	2002	Fuel cell/ battery hybrid	90 kW/ PEM [122hp]	Toyota	180 mi 290 km	N/a	96 mph 155 km/h	Compress. Hydrogen @ 5.000 psi	Total of 18 leased in California and Japan
	FINE-S Concept only	2003	Fuel cell	N/a	N/a	N/a	N/a	N/a	N/a	Toyotas's freedom of design concept
	EU Capri Project (VW Estate)	1999	Fuel cell/ battery	15 kW/ PEM	Ballard Mark 500 Series	N/a	N/a	N/a	Methanol	Involved Johnson-Matthey, ECN, VW, and Volvo
	HyMotion	2000	Fuel cell	75 kW/ PEM	N/a	220 mi 350 km	N/a	86 mph 140 km/h	13 gal. Of Liquid Hydrogen	-
	HyPower	2002	Fuel cell/ super-capacitors hybrid	40 kW/ PEM	Paul Scherrer Institute	94 mi 150 km	N/a	N/a	Compress. hydrogen	-

Fuente: Fuel Cells2000 y US Fuel Cell council

Ford parece haber encontrado en la ecología su seña distintiva. La mitad de los vehículos de las marcas estadounidense Ford, Lincoln y Mercury estarán equipados con motores híbridos en 2010. Así serán capaces de producir 250.000 híbridos con propulsores de gasolina y electricidad durante los próximos cinco años. En la actualidad, estos motores se incorporan en dos *Sport Utility Vehicles* (todoterreno deportivos de lujo o SUV) del grupo.

Ford también ha lanzado cuatro nuevos vehículos propulsados por etanol en 2006: el F-150, Crown Victoria, Grand Marquis y Lincoln Town Car. Con esto han producido unos 280.000 vehículos con propulsores de etanol en 2006.

No deja de ser sorprendente el prototipo Chevrolet Volt presentado en el Salón de Detroit 2007, que reemplaza la pila de combustible, de la que General Motors es líder, por un generador de energía eléctrica accionado por un motor de combustión interna. Se trata de un modelo que trata de establecer un puente entre la actualidad y el futuro y que permite recargar unas baterías de alta duración en la red doméstica.

Pero ante esta auténtica eclosión de modelos, debemos reflexionar ante el escaso éxito que, en general, los modelos de bajo consumo lanzados en serie han tenido en sus lanzamientos comerciales. Los consumidores europeos no acaban de aceptar pagar más o tener (o creer que se van a tener) menores prestaciones para contaminar menos. La lista de éxitos tecnológicos que han supuesto un auténtico fiasco comercial es larga y, en cierto modo, frustrante.

- **Audi Duo:** primer vehículo híbrido lanzado por Audi en 1997. Se vendieron 60 unidades.
- **FIAT Seicento Electra:** vehículo eléctrico lanzado en 1998. Se vendieron 294 unidades, casi todas ellas a flotas de administraciones públicas.
- **Astra y Corsa ECO:** coche de bajas emisiones (115 gr CO<sub>2</sub> por km.) lanzado por Opel en 2002. Coche económico tanto por su precio de compra como por sus costes de mantenimiento. Escaso éxito comercial.
- **Mercedes A160:** el modelo de bajo consumo sólo logró vender 29.000 unidades.
- **Coches eléctricos del Grupo PSA:** PSA ha lanzado varios modelos eléctricos desde 1995 (106, Partner, J5, AX, Saxo y Berlingo). En estos doce años sólo se han vendido 10.000 unidades.
- **Coches eléctricos de Renault:** entre 1993 y 1997 Renault vendió 1.287 vehículos eléctricos. En 2002 volvió a experimentar con esta tecnología y vendió 151 unidades. En el desarrollo de estos vehículos Renault ha gastado más de 100 millones de euros.
- **Volkswagen Lupo y Golf CityStromer.** Volkswagen logró el reto de lanzar un coche que consumiese menos de 3 litros a los 100 km., pero, tras un inicio prometedor, las ventas se

estancaron. En 1995 inició la venta de coches eléctricos, el Golf CityStromer, pero sólo vendió 150 unidades.

En el otro lado de la moneda nos encontramos con la ya asentada tecnología híbrida de Toyota y Lexus o los coches de etanol usados en Brasil. En cualquier caso, parece que el consumidor europeo debe ser incentivado, positiva o negativamente, para que comience a experimentar con vehículos menos contaminantes.

En el proceso de revisión de este documento, la Comisión Europea ha comunicado sus intenciones de limitar la emisión de CO<sub>2</sub> de los coches hasta 120 gr. de CO<sub>2</sub> por km. para 2012. Aunque la intención de este documento no es participar en discusiones coyunturales, no se puede dejar pasar la oportunidad para subrayar algunas de las características del debate público sobre la reducción de emisiones de gases invernadero.

Las distintas partes involucradas tratan de mandar mensajes condicionados y parciales al ciudadano. Por ejemplo, los argumentos técnicos dados por la Asociación Europea de Fabricantes (ACEA) son impecables:

“Es necesario plantear actuaciones integrales; modificando sólo una parte, la tecnología de los coches, no se llegará a ninguna solución viable. Así, en el enfoque integral planteado por la ACEA se citan actuaciones sobre tecnología de motores, pero también sobre los combustibles, las infraestructuras, el comportamiento de los ciudadanos, la información a los mismos y una clara y pedagógica discriminación fiscal basada sólo en cantidades mesurables de CO<sub>2</sub> y no en la naturaleza de los vehículos. Así mismo, dado que el parque europeo de vehículos es unas diez veces las ventas anuales, el mejor impuesto a revisar es el de circulación, no el de matriculación, y las inspecciones técnicas periódicas deben servir para ajustar la base del impuesto.”

Pero donde la ACEA falla en su argumentación es al recordarnos lo relevante que es la industria del automóvil en Europa:

“La industria del automóvil europea es proveedora de movilidad y de un estilo de vida, genera 1,9 millones de puestos de trabajo directos y más de 10 millones indirectos, invierte anualmente en investigación y desarrollo más de 19.000 millones de euros, contribuye en 33.500 millones de euros positivos netos a la balanza comercial europea y se recaudan unos 340.000 millones de euros en impuestos relacionados con el automóvil.”

¿Y...? No creo que el recordar la importancia del sector vaya a reducir el CO<sub>2</sub> de la atmósfera... En cualquier caso, en este planteamiento está la esencia de las barreras frente a las que se encuentra la sociedad para cambiar del petróleo a otro combustible:

Sostenibilidad *versus* economía

CO<sub>2</sub> *versus* euros

Futuro *versus* comodidad.

Lo que sí es cierto es que las exigencias que se planteen a los coches de la Unión Europea también deben aplicarse para el resto de vehículos, de forma obligatoria para los importados, y tratando de lograr que el estándar europeo se convierta en global.

En definitiva, el futuro no estará dominado por una sola tecnología y la transición hacia un entorno estable generará distintos escenarios intermedios donde la economía, la política e incluso la demagogia marcarán el ritmo del cambio tal vez más que la tecnología.

## 6. Normativa europea

Impulsar alternativas al petróleo no sólo es necesario porque el petróleo es caro, cada vez más escaso y, además, contamina. La Unión Europea ha marcado un plan ambicioso pero realista para migrar hacia fuentes de energía limpias.

Así, de las cuatro acciones dentro de la política energética europea, dos de ellas tienen clara incidencia en el mundo de los combustibles para vehículos automóviles:

- **Plan de acción de eficiencia energética:** se ha marcado un objetivo del 18% de incremento de la eficiencia energética en 2010, así como lograr una cuota mínima de la cogeneración del 12% en el mismo año.
- **Libro Verde de las Energías Renovables:** se desea que las energías renovables supongan al menos el 12% del consumo europeo, desde una situación de partida del 6%.
- **Libro Blanco del Transporte:** en el año 2020 al menos el 20% de los combustibles tendrán que ser alternativos.
- **Comunicado sobre combustibles alternativos:** el hidrógeno deberá suponer al menos el 5% de los combustibles en el año 2020.

Para lograr la cuota del 20% de combustibles alternativos, la Unión Europea recomienda:

- biocombustibles, en el corto y medio plazo,
- gas natural, en el medio y largo plazo,
- hidrógeno, en el largo plazo.

Y considera como tecnologías válidas, aunque de menor recorrido:

- coches eléctricos,
- coches híbridos,
- metanol y DMW,

- GLP,
- GTL (FT Diésel).

Los criterios fundamentales para considerar un combustible como alternativo son:

- seguridad y fiabilidad de suministro,
- reducción de la emisión de gases de efecto invernadero,
- capacidad para servir al menos al 5% del mercado de transporte por carretera.

Finalmente, no deben obviarse las normativas propias de los Estados miembros, pues, aunque convergentes, no son ni mucho menos iguales.

Así, en Alemania todo lo que no está expresamente prohibido está permitido. Por tanto, hoy pueden circular vehículos impulsados por hidrógeno sin ningún problema.

Sin embargo, en Francia el razonamiento es justamente el contrario: todo lo que no está expresamente permitido o referido en la legislación, está prohibido. Así, hoy no pueden circular vehículos impulsados por hidrógeno por las carreteras y ciudades francesas.

En España, como en el resto de Europa, el mundo de las homologaciones de vehículos es complejo, pues deben pasar cerca de 60 pruebas de homologación. Para la introducción de un vehículo de hidrógeno se deberán pasar, al menos, ocho homologaciones:

- choque frontal,
- choque lateral,
- nivel sonoro,
- emisiones,
- medida de potencia de los motores,
- protección trasera,
- medida de consumo de combustible,
- identificación de mandos, indicadores y testigos.

La Directiva 2003/30/CE incide específicamente en el área de biocarburantes. Dicha Directiva estableció en 2003 nuevos y mayores objetivos para el consumo de biocarburantes: “Como valor de referencia para estos objetivos [a nivel nacional] se fija el 5,75% calculado sobre la base del contenido energético, de toda la gasolina y todo el gasóleo comercializados en sus mercados con fines de transporte a más tardar el 31 de diciembre de 2010.”

La Unión Europea no es la única que legisla en este escenario. Países tan dispares como Tailandia o Brasil lo vienen haciendo con igual o mayor agresividad:

- Unión Europea: 5,75% para 2010 y 8% para 2020, en contenido energético (dentro de un Plan europeo global de sustituir el 20% de los combustibles convencionales por combustibles alternativos para 2020).
- Estados Unidos: 4% para 2010 y 20% para 2030.
- Brasil: 25% de mezcla obligatoria de bioetanol en gasolinas.
- Canadá: según la región, 7,5%-10% de mezcla obligatoria de bioetanol en gasolinas.
- China: 10% de mezcla obligatoria de bioetanol en gasolinas en varias provincias.
- Argentina: 5% de mezcla obligatoria de bioetanol para los próximos cinco años.
- Colombia: 10% de mezcla obligatoria de bioetanol para las mayores ciudades, a partir de 2005.
- Tailandia: 10% de mezcla obligatoria de bioetanol en las gasolineras de Bangkok.

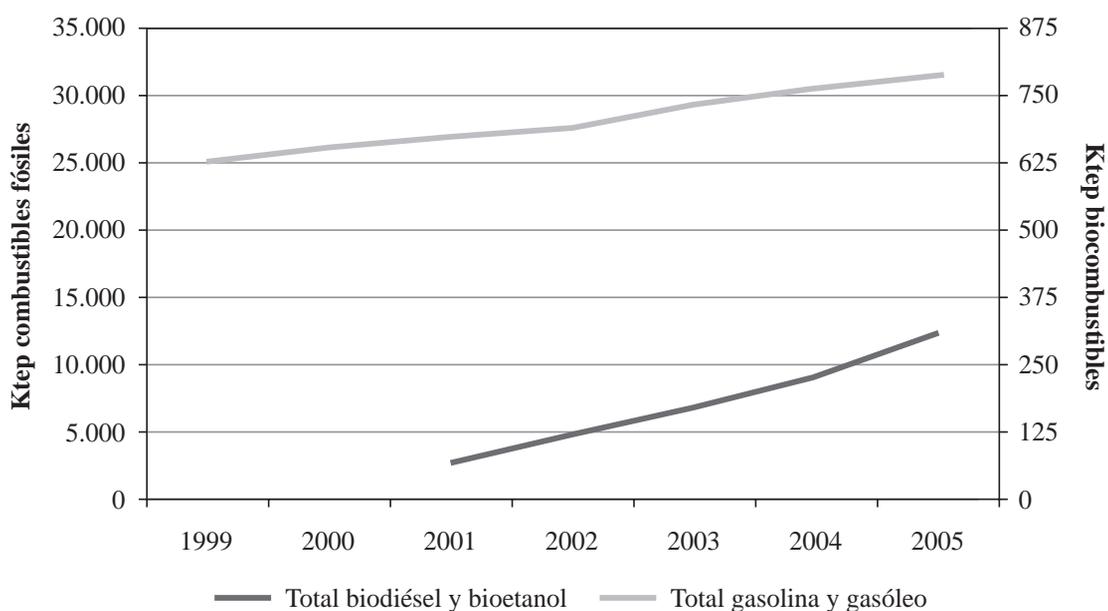
El objetivo de consumo de biocarburantes para España para 2005 era del 2%, ascendiendo hasta el 5,75% para 2010. Sin embargo, diversos organismos han comunicado su escepticismo sobre el cumplimiento de estos objetivos en España.

Se estima que en 2005 el consumo de biocarburantes en España no ha superado las 300 ktep, frente a un consumo esperado de más de 30.000 ktep de gasolina y gasóleo (Gráfico 14). Aunque este consumo de biocarburantes triplica lo que se consumió en 2003, representa únicamente un 1% del consumo de combustibles de origen fósil.

La tendencia actual indica que, si se mantienen las condiciones actuales de crecimiento en el consumo de biocarburantes, éstos supondrán en España en 2010 el 1,7% del total de los carburantes empleados en el transporte, frente al objetivo del 5,75% estipulado por la Unión Europea. Partiendo de los datos máximos de consumo de biocarburantes esperados para 2005, el crecimiento anual necesario para cumplir el objetivo establecido en la Directiva es del 48%.

En España es muy relevante el hecho de que año tras año el consumo de diésel crece y, en la actualidad, ya supera a la gasolina. Como el proceso de refino está diseñado para ser más eficiente en la producción de gasolina que en la de diésel, convierte a España en excedentario en gasolina y deficitario en diésel. Por eso el desarrollo del biodiésel es incluso más interesante que el de bioetanol. Y, de momento, la producción de biocarburantes en España está concentrada en su práctica totalidad en bioetanol (180 kton vs. 6 kton de biodiésel en 2003). La iniciativa privada no se debe coartar, pero tal vez se pueda orientar.

**Gráfico 14. Consumo de biocarburantes vs. gasolina y diésel en España**



Fuente: CORES y APPA. Escala Biocarburantes 40 veces menor que la de gasolina/gasoil

## 7. Conclusión: las propuestas concretas

Nuestra sociedad está anclada en el petróleo, es cierto, y la inercia del sistema para realizar cambios estructurales es muy grande. Pero un cambio cultural es posible, sobre todo si las administraciones lo impulsan como mejor lo entendemos los ciudadanos, con impuestos.

Antes de proponer medidas, repasemos qué han hecho otros países. En general las medidas a favor de combustibles alternativos, y en especial biocarburantes, coinciden notablemente. Fundamentalmente se trata de ayudas fiscales a la producción, subvenciones agrarias, obligaciones de porcentaje de mezcla y facilitar la introducción de vehículos preparados en el mercado (mediante una reducción impositiva):

- **EE UU:** la promoción del bioetanol se lleva realizando con intensidad desde 1990, por lo que existe una gran variedad de medidas, la mayoría implantadas por cada Estado:
  - Obligación de utilizar carburantes enriquecidos en oxígeno (mayor combustión y menores emisiones) en áreas designadas como de alta concentración de contaminantes (ozono, CO). Favorece las mezclas con bioetanol y ETBE por su mayor contenido en oxígeno.
  - Fomento de mercados locales para etanol (promoción y apoyo a la venta de FFV y coches para E85), normalmente en las regiones próximas a los centros productivos (*Clean Cities Program*).
  - Utilización de biocarburantes en flotas cautivas.
  - Prohibición del MTBE (una variante contaminante de bioetanol). El MTBE oxigena la gasolina, mejorando su combustión y, por tanto, aumentando su rendimiento y, sobre todo, reduciendo las emisiones de CO<sub>2</sub> y de otros componentes nocivos, como el azufre. Sin embargo, sus efectos para el ser humano, en caso de ser ingerido, son muy nocivos y, dado que se disuelve muy fácilmente en agua, es un material cuyo uso se quiere limitar e incluso erradicar.
  - Ayudas a la agricultura.
  - Exenciones fiscales al biocarburante (producción y uso), créditos fiscales, exenciones fiscales a su venta, apoyo directo a las plantas (subvenciones).

- **Alemania:** el esquema alemán se basa en la exención fiscal completa del impuesto de hidrocarburos para los biocarburantes y en la ausencia de limitaciones ni a las cantidades vendidas ni a los porcentajes de mezcla, siempre que se comuniquen correctamente para que los usuarios puedan hacer buen uso de ellos. Su gran efectividad ha venido determinada por el alto impuesto especial vigente en ese país. Además, se pueden citar las siguientes medidas:

- Fomento de I+D relacionada.
- Desarrollo de una red de suministro de biodiésel.

- **Francia:** la exención fiscal está limitada a un máximo repartido entre los productores autorizados de biocarburantes mediante cuotas de oferta pública.

Posiblemente la medida más interesante desarrollada en este país sea la aplicación diferenciada del impuesto de hidrocarburos (diferentes tipos impositivos) en función de la presencia y porcentaje de mezcla de biocarburante. De este modo, se fomenta no sólo la producción, sino también la demanda de biocarburantes por parte del sector transporte.

- **Italia:** la medida de desarrollo más interesante en Italia es la extensión del fomento no sólo a las aplicaciones de transporte, sino también a su uso para calefacción doméstica. Si bien este consumo no contabiliza para el objetivo europeo de transporte, sí es útil para proporcionar liquidez al mercado de biocarburante (en este caso biodiésel) y cierta estabilidad en cuanto a la demanda de consumo (aunque estacional).

- **Brasil:** el modelo brasileño se basa en una fuerte intervención en el mercado mediante un acuerdo cooperativo entre Gobierno, agricultores, productores de biocarburantes y fabricantes de automóviles, coordinado por la compañía petrolífera nacional Petrobras.

Mediante dicho acuerdo se logró introducir un fuerte porcentaje de automóviles basados en el bioetanol como carburante, aliviando a la vez las cuentas nacionales por una menor importación de petróleo. Sin embargo, el intervencionismo del mismo causó la crisis del programa (Proalcohol) con la bajada de precio del petróleo (1973), unida a la finalización de las ayudas a la producción. Dicha situación significó la inestabilidad del suministro, de modo que los consumidores se refugiaron en el carburante fósil.

El programa Proalcohol, así como otro similar nuevo para biodiésel, se ha reactivado con la entrada en el mercado de los FFV, de modo que los consumidores pueden elegir el carburante más barato (fósil o bioetanol), según sea la evolución del mercado.

- **Suecia y Alemania** son los primeros países de la Unión Europea donde fabricantes de automóviles han garantizado el funcionamiento del motor utilizando biocarburantes, por lo que son pioneros en la introducción de automóviles compatibles en el mercado (y FFV).

- Por último, un número creciente de países en todo el mundo (Canadá, Argentina, Chile, Tailandia) han anunciado la obligatoriedad de un porcentaje de mezcla de biocombustible en los carburantes de venta al público a diferentes niveles (desde nacional a local).

La mayoría de las propuestas planteadas son simples en su planteamiento, pero complejas en su ejecución, ya que afectan a impuestos muy relevantes para la financiación del Estado o de los municipios. Por ello, donde pone reducción (discriminación positiva) también puede leerse incremento de los impuestos para el petróleo (discriminación negativa). La forma más realista de implantarlas es una mezcla de incrementos y decrementos. En cualquier caso, debe ser una discriminación bien argumentada, que no sólo modifique conductas, sino que eduque a los ciudadanos. No es, en principio, correcto gravar “por contaminantes” a los vehículos en función de su cilindrada, tipo de combustible o por ser todoterreno. Todos y cada uno de los coches homologan sus emisiones y sería muy fácil, a la par que educativo, gravar los coches por sus emisiones tales como gramos de CO<sub>2</sub> por kilómetro circulado, o de NO o de azufre. De lo contrario, hay el riesgo de gravar un coche híbrido por ser todoterreno, lo cual rayaría en el absurdo.

Utilizando datos de las fichas de homologación presentadas por los fabricantes (tal vez parciales, pero a fin de cuentas aprobadas por el Ministerio de Industria con idénticos criterios), el Lexus RX 400h (3,3 l) constituye un buen ejemplo:

- Consumo: 8,1 litros de gasolina a los 100 km.
- Emisión de CO<sub>2</sub>: 192 gr. por km.

Un utilitario de una cilindrada de 1,8 litros de un fabricante puntero europeo tiene los siguientes parámetros:

- Consumo: 8,9 litros de gasolina a los 100 km.
- Emisión de CO<sub>2</sub>: 214 gr. por km.

El Lexus, con una potencia y un peso casi el doble que el utilitario, es más que probable que sea penalizado impositivamente. Ya lo es por su cilindrada y lo puede ser por ser todoterreno. Así, la población no será correctamente educada, más bien confundida.

De momento los fabricantes europeos se están comprometiendo a producir coches con emisiones inferiores a los 120 gr. de CO<sub>2</sub> por km. a partir de 2012, independientemente de su cilindrada y potencia. Adicionalmente, cada fabricante tendrá en su catálogo modelos de emisiones cero (fundamentalmente eléctricos, utilizando hidrógeno como combustible o utilizando pila de combustible).

Y para ser más ecuánimes, la base de cálculo debería revisarse en cada paso por las inspecciones periódicas (ITV). Los coches viejos contaminan más que los nuevos.

Vayan, pues, las diez propuestas concretas:

- **Reducción o eliminación de los impuestos de matriculación y circulación** para los vehículos automóviles que usen tecnologías alternativas al petróleo: vehículos híbridos, con pila de combustible, etc., o de consumo y emisiones de CO<sub>2</sub> extraordinariamente reducidos (p. ej. menos de 3 litros de combustible a los 100 km.). Idealmente debería ajustarse el impuesto de circulación de los vehículos según sus emisiones reales a lo largo de su vida útil.

La discriminación fiscal positiva o negativa puede ser una de las herramientas más eficaces para influir en el comportamiento de los ciudadanos. Pero debe realizarse adecuadamente. Debe indexarse a la emisión de CO<sub>2</sub>, sea el vehículo que sea, sin límites ni matices. Carece de sentido castigar más a los todoterreno o a los vehículos de alta cilindrada por ser grandes o caros. Si se desea hacerlo, debería recuperarse el impuesto de lujo o crearse un impuesto por la ocupación de la vía pública. Además, los vehículos antiguos son los que más contaminan, por ello los gravámenes ambientales deberían incidir sobre el impuesto de circulación más que en los de matriculación y modificarse tras cada inspección técnica.

- Establecimiento de un **Plan Prever** o **Renove** (plan de ayudas a la renovación del parque automovilístico) específico para la compra de vehículos traccionados por fuentes alternativas al petróleo.

No nos cansaremos de repetir que los coches que más contaminan son, sin lugar a dudas, los coches antiguos. Año tras año los fabricantes lanzan vehículos cada vez más eficientes y que contaminan menos. Como media se reduce un 2% de emisiones cada año. Así, un coche de 10 años de antigüedad emite, a igualdad de condiciones y sin considerar las pérdidas de eficiencia por el desgaste del motor, un 18% más de CO<sub>2</sub> que uno nuevo. Por ello la renovación del parque de vehículos es una medida prioritaria para reducir las emisiones.

Este progreso tecnológico es consecuencia del compromiso que los fabricantes de automóviles europeos firmaron en 1998, mediante el cual se comprometían a alcanzar unas emisiones medias de 140 gr. CO<sub>2</sub> por km. en 2008, lo cual significa un 25% menos que en 1995.

- **Actuación sobre los impuestos de carburantes para los biocarburantes**, de forma que el consumidor perciba un diferencial de precio de, por lo menos, un 20% respecto de los combustibles tradicionales. En la actualidad a los biocarburantes no se les aplica el impuesto sobre carburantes. Pero, dado el alto coste de fabricación de éstos, el precio final es prácticamente el mismo.

Debería incidirse más en la estructura de costes y precios para que el consumidor obtuviese una rebaja significativa que le animase a realizar el cambio cuanto antes; de nuevo concienciación al consumidor mediante impacto económico.

- **Creación de líneas de subvención y financiación específicas para la investigación, el desarrollo y la innovación** en el área de biocarburantes y/o pila de combustible.

Las empresas españolas todavía están a tiempo de liderar alguna de las nuevas tecnologías y procesos. Para facilitar el desarrollo de las mismas deberían establecerse vehículos de ayuda y soporte específicos. Es fundamental que la sociedad empresarial española entienda que en este campo se está, todavía, a tiempo de lograr una posición relevante en el contexto internacional.

- **Creación de líneas de subvención y financiación específicas para la implantación de pilas de combustible fijas** en edificios públicos y privados, como vía de popularización de la nueva tecnología.

La tecnología de pilas de combustible estáticas ya está bastante desarrollada. Además, el disponer de hidrógeno en bombonas es sencillo. Su difusión facilitaría tanto la implantación de fabricantes de pilas y de sus componentes en España como el desarrollo paulatino de la infraestructura de producción y distribución de hidrógeno. Desarrollar un parque de pilas de combustible fijas sería la forma más sencilla de entrar en la era del hidrógeno.

- Impulso a la **entrada de las principales petroleras en el mundo de los biocarburantes**, mediante, por ejemplo, ayudas a la transformación de las estaciones de servicio o legislando sobre la distancia mínima entre estaciones con posibilidad de despacho de biocarburantes.

Para que los ciudadanos usen los nuevos combustibles, éstos deberían estar subvencionados, pero, sobre todo, deberían ser fácilmente accesibles. Normalmente los conductores repostan allá donde lo necesitan. Por ello es necesario disponer de un parque de surtidores suficiente para que sea fácil hacerlo en cualquier lado.

- **Creación de un mercado estructurado de productos agrarios** susceptibles de transformarse en biocarburantes. El desarrollo de los biocarburantes puede significar nuevos nichos de mercado para el comercio de productos agrícolas y derivados a escala mundial. Actualmente se trata de mercados protegidos, de pequeño volumen y subvencionados por las administraciones públicas, pero con su desarrollo muchos países agrícolas pueden aprovechar el sector para colocar su producción: países como Malasia e Indonesia, la de aceite (de palma), y países como Brasil para vender su excedente de bioetanol. El caso de la jatrofa es singular, pues puede permitir la recuperación de suelos baldíos. India es el principal impulsor de este cultivo. Como indicativo del desarrollo de este mercado,

se abrió en Nueva York (mayo 2004) un mercado de futuros (Nybot) para el bioetanol, que posteriormente ha sido sustituido por otro en Chicago.

El producto de mayor presencia es el bioetanol, con Brasil y EE UU como los mayores productores: teniendo en cuenta todos los usos del bioetanol (carburante, para bebidas e industrial), ambos países significan en torno al 70% de la producción mundial, porcentaje que asciende al 95% si hablamos de bioetanol como carburante. La producción mundial de bioetanol para este uso ascendió a 19 Mtons en 2003.

La producción mundial de biodiésel como biocarburente ascendió en 2003 a 1,6 Mtons, principalmente concentrada en la Unión Europea. Sin embargo, Brasil inició a finales de 2004 un programa de fomento del biodiésel (mezcla al 2% y al 5% a medio plazo), generado a partir de aceite de soja y de ricino.

España y Europa necesitan mantener su agricultura para conservar un territorio razonable homogéneo (o convertir a los agricultores en jardineros y guardas forestales). En esta línea, se puede recuperar parte de nuestro potencial agrícola con este tipo de producciones como una medida de complementar la protección del campo mediante la Política Agraria Común. Mediante un estudio completo se pueden levantar aranceles de productos susceptibles de ser producidos en países emergentes.

Finalmente, la estructuración del mercado puede permitir una mayor estabilidad de precios, pues en la actualidad una de las barreras para la difusión de biocombustibles es la volatilidad de los precios.

- **Creación de un programa de concienciación** a los ciudadanos sobre los combustibles alternativos al petróleo mediante la divulgación de las características de los combustibles alternativos.

Aunque se han realizado notables esfuerzos en la investigación y publicación de estudios sobre biocarburentes, todavía no se han publicado de forma contundente informes definitivos, de fuentes independientes fiables y reconocidas, que sean aceptados por todos los agentes del mercado como referente, tanto en relación con su rendimiento en motores, de necesidades de adaptación del motor (en caso de requerirse) y de las características de gestión y especificaciones para los mismos. Esta ausencia de estándares provoca confusión y desconfianza hacia los biocarburentes (barreras perceptivas), retrasando la adopción de los mismos por parte del mercado y, en especial:

- Incertidumbre en relación con las especificaciones técnicas y la aplicabilidad de los biocarburentes en los motores (vida del motor, rendimiento), en relación con su estandarización y normalización, lo que retrasa la adaptación de los coches a su uso, por parte de los fabricantes de automóviles y de sus usuarios. La

primera vez que alguien reposta con biocarburantes es, sin lugar a dudas, la más difícil.

- Potencial ausencia o inestabilidad en el abastecimiento y consiguiente percepción por el público de falta de seguridad en el suministro.
- Desconocimiento por parte del gran público (generar demanda), para lo que serían necesarias campañas publicitarias de promoción adecuadamente graduadas con el fin de evitar una expectativa que supere la oferta actual y el efecto rebote retrase la introducción de los nuevos combustibles.

- **Sustitución de parte de las reservas estratégicas de petróleo por biocarburantes.**

Cuando los Estados asuman que almacenar biodiésel es igual de seguro que diésel (o bioetanol que gasolina), los ciudadanos comenzarán a creerse la intercambiabilidad de los combustibles. De momento parece algo exótico y que sólo es útil en pequeñas dosis.

- **Uso de combustibles alternativos en las flotas de vehículos públicos** (autobuses urbanos, policías local y autonómica, vigilantes forestales, bomberos, coches oficiales, etc.).

El desarrollo de flotas de referencia presenta bajas necesidades logísticas y elevado (aunque localizado) resultado. Son especialmente relevantes como experiencia piloto para analizar la capacidad de abastecimiento y para iniciar y probar los mercados.

Para la introducción del consumo de biocarburante en estos nichos se puede implantar un mínimo de porcentaje de mezcla con carburante fósil, de tal modo que la medida pueda ser graduada en función de la evolución del mercado energético y asegurar igualmente el suministro. Del mismo modo, dicho porcentaje (así como la incorporación de nuevos nichos) puede graduarse en el tiempo de forma creciente según la evolución de la demanda. Lo mismo puede ser aplicable al uso de las pilas de combustible.

Otra opción es incluir el compromiso de un porcentaje de consumo de biocarburantes en los criterios de adjudicación de flotas públicas para potenciar el consumo, pero dejando al mercado seleccionar su coste (y flexibilizando su aplicación según las preferencias de los concursantes).

- Flotas cautivas municipales:
  - autobuses públicos (empresas públicas y concesionarias),
  - autobuses interurbanos (actuación a nivel autonómico),
  - flotas de servicios urbanos (limpieza, recogida de residuos),

- policía municipal,
- bomberos.

Los autobuses son especialmente útiles, pues no tienen problemas de espacio y sus rutas son totalmente predecibles, por lo que la autonomía no debe ser un problema. Además, los puntos de abastecimiento son pocos. Esta concentración del abastecimiento es fundamental para todas las flotas y permite que con sólo uno o dos puntos por ciudad se pueda experimentar con diversos combustibles.

- Flotas cautivas autonómicas y estatales:
  - vehículos militares,
  - cuerpos de policía autonómica y municipal,
  - vehículos de protección ambiental (protección de espacios protegidos, etc.),
  - vehículos oficiales (ministros, consejeros, etc.).
- Colectivos de interés: lo que implica la necesidad de llegar a acuerdos de colaboración con:
  - gremios y asociaciones de taxistas,
  - empresas logísticas y de transporte (camiones),
  - compañías de autocares,
  - empresas de alquiler de vehículos (limitada).
- Sectores no transporte: a pesar de no contabilizar para los objetivos de Kioto, pueden proporcionar liquidez al mercado de biocarburantes.
  - calefacción,
  - tractores (carburante como uso industrial).

En resumen, se trata de facilitar el uso y de incentivar y educar a la población para un cambio que debemos realizar cuanto antes.

## Índice de Tablas y Gráficos

### Tablas

Tabla 1. Características técnicas de los principales biocarburantes .....	28
Tabla 2. Capacidad de producción de bioetanol en funcionamiento en España en 2005 .....	33
Tabla 3. Plantas de producción de biodiésel en funcionamiento en España en enero 2006 .....	33
Tabla 4. Selección de lanzamientos anunciados de vehículos con pila de combustible .....	39
Tabla 5. Automóviles con propulsión alternativa a los derivados del petróleo .....	48

### Gráficos

Gráfico 1. El fin de la era del petróleo y el futuro del hidrógeno .....	7
Gráfico 2. Relación reservas/producción (años de consumo 1981-2005) .....	10
Gráfico 3. Evolución del precio del petróleo desde 1861 a 2005 .....	11
Gráfico 4. Estimación de la evolución del precio del petróleo crudo y refinado hasta 2010 .....	13
Gráfico 5. Pico de producción mundial de petróleo .....	15
Gráfico 6. Descubrimientos de yacimientos petrolíferos .....	16
Gráfico 7. Evolución del porcentaje de fuentes de energía .....	18
Gráfico 8. Compromiso de reducción de emisiones de la Unión Europea por el Tratado de Kioto .....	21

Gráfico 9. Evolución de emisiones y PIB en España .....	22
Gráfico 10. Proceso de producción de biodiésel a partir de la esterificación de aceites .....	30
Gráfico 11. Proceso de producción de bioetanol .....	31
Gráfico 12. Puntos de abastecimiento regular de hidrogeno .....	40
Gráfico 13. Reducción de CO <sub>2</sub> por cambios ecológicos y de combustibles .....	42
Gráfico 14. Consumo de biocarburantes vs. gasolina y diésel en España .....	62

## Documentos de trabajo publicados

- 1/2003. **Servicios de atención a la infancia en España: estimación de la oferta actual y de las necesidades ante el horizonte 2010.** María José González López.
- 2/2003. **La formación profesional en España. Principales problemas y alternativas de progreso.** Francisco de Asís de Blas Aritio y Antonio Rueda Serón.
- 3/2003. **La Responsabilidad Social Corporativa y políticas públicas.** Alberto Lafuente Félez, Víctor Viñuales Edo, Ramón Pueyo Viñuales y Jesús Llaría Aparicio.
- 4/2003. **V Conferencia Ministerial de la OMC y los países en desarrollo.** Gonzalo Fanjul Suárez.
- 5/2003. **Nuevas orientaciones de política científica y tecnológica.** Alberto Lafuente Félez.
- 6/2003. **Repensando los servicios públicos en España.** Alberto Infante Campos.
- 7/2003. **La televisión pública en la era digital.** Alejandro Perales Albert.
- 8/2003. **El Consejo Audiovisual en España.** Ángel García Castillejo.
- 9/2003. **Una propuesta alternativa para la Coordinación del Sistema Nacional de Salud español.** Javier Rey del Castillo.
- 10/2003. **Regulación para la competencia en el sector eléctrico español.** Luis Atienza Serna y Javier de Quinto Romero.
- 11/2003. **El fracaso escolar en España.** Álvaro Marchesi Ullastres.
- 12/2003. **Estructura del sistema de Seguridad Social. Convergencia entre regímenes.** José Luis Tortuero Plaza y José Antonio Panizo Robles.
- 13/2003. **The Spanish Child Gap: Rationales, Diagnoses, and Proposals for Public Intervention.** Fabrizio Bernardi.
- 13\*/2003. **El déficit de natalidad en España: análisis y propuestas para la intervención pública.** Fabrizio Bernardi.
- 14/2003. **Nuevas fórmulas de gestión en las organizaciones sanitarias.** José Jesús Martín Martín.
- 15/2003. **Una propuesta de servicios comunitarios de atención a personas mayores.** Sebastián Sarasa Urdiola.
- 16/2003. **El Ministerio Fiscal. Consideraciones para su reforma.** Olga Fuentes Soriano.
- 17/2003. **Propuestas para una regulación del trabajo autónomo.** Jesús Cruz Villalón.
- 18/2003. **El Consejo General del Poder Judicial. Evaluación y propuestas.** Luis López Guerra.
- 19/2003. **Una propuesta de reforma de las prestaciones por desempleo.** Juan López Gandía.
- 20/2003. **La Transparencia Presupuestaria. Problemas y Soluciones.** Maurici Lucena Betriu.
- 21/2003. **Análisis y evaluación del gasto social en España.** Jorge Calero Martínez y Mercè Costa Cuberta.
- 22/2003. **La pérdida de talentos científicos en España.** Vicente E. Larraga Rodríguez de Vera.
- 23/2003. **La industria española y el Protocolo de Kioto.** Antonio J. Fernández Segura.
- 24/2003. **La modernización de los Presupuestos Generales del Estado.** Enrique Martínez Robles, Federico Montero Hita y Juan José Puerta Pascual.
- 25/2003. **Movilidad y transporte. Opciones políticas para la ciudad.** Carme Miralles-Guasch y Àngel Cebollada i Frontera.
- 26/2003. **La salud laboral en España: propuestas para avanzar.** Fernando G. Benavides.
- 27/2003. **El papel del científico en la sociedad moderna.** Pere Puigdomènech Rosell.
- 28/2003. **Tribunal Constitucional y Poder Judicial.** Pablo Pérez Tremps.
- 29/2003. **La Audiencia Nacional: una visión crítica.** José María Asencio Mellado.
- 30/2003. **El control político de las misiones militares en el exterior.** Javier García Fernández.
- 31/2003. **La sanidad en el nuevo modelo de financiación autonómica.** Jesús Ruiz-Huerta Carbonell y Octavio Granado Martínez.

- 32/2003. **De una escuela de mínimos a una de óptimos: la exigencia de esfuerzo igual en la Enseñanza Básica.** Julio Carabaña Morales.
- 33/2003. **La difícil integración de los jóvenes en la edad adulta.** Pau Baizán Muñoz.
- 34/2003. **Políticas de lucha contra la pobreza y la exclusión social en España: una valoración con EspaSim.** Magda Mercader Prats.
- 35/2003. **El sector del automóvil en la España de 2010.** José Antonio Bueno Oliveros.
- 36/2003. **Publicidad e infancia.** Purificación Llaquet, M<sup>a</sup> Adela Moyano, María Guerrero, Cecilia de la Cueva, Ignacio de Diego.
- 37/2003. **Mujer y trabajo.** Carmen Sáez Lara.
- 38/2003. **La inmigración extracomunitaria en la agricultura española.** Emma Martín Díaz.
- 39/2003. **Telecomunicaciones I: Situación del Sector y Propuestas para un modelo estable.** José Roberto Ramírez Garrido y Juan Vega Esquerrá.
- 40/2003. **Telecomunicaciones II: Análisis económico del sector.** José Roberto Ramírez Garrido y Álvaro Escribano Sáez.
- 41/2003. **Telecomunicaciones III: Regulación e Impulso desde las Administraciones Públicas.** José Roberto Ramírez Garrido y Juan Vega Esquerrá.
- 42/2004. **La Renta Básica. Para una reforma del sistema fiscal y de protección social.** Luis Sanzo González y Rafael Pinilla Pallejà.
- 43/2004. **Nuevas formas de gestión. Las fundaciones sanitarias en Galicia.** Marciano Sánchez Bayle y Manuel Martín García.
- 44/2004. **Protección social de la dependencia en España.** Gregorio Rodríguez Cabrero.
- 45/2004. **Inmigración y políticas de integración social.** Miguel Pajares Alonso.
- 46/2004. **TV educativo-cultural en España. Bases para un cambio de modelo.** José Manuel Pérez Tornero.
- 47/2004. **Presente y futuro del sistema público de pensiones: Análisis y propuestas.** José Antonio Griñán Martínez.
- 48/2004. **Contratación temporal y costes de despido en España: lecciones para el futuro desde la perspectiva del pasado.** Juan J. Dolado y Juan F. Jimeno.
- 49/2004. **Propuestas de investigación y desarrollo tecnológico en energías renovables.** Emilio Menéndez Pérez.
- 50/2004. **Propuestas de racionalización y financiación del gasto público en medicamentos.** Jaume Puig-Junoy y Josep Llop Talaverón.
- 51/2004. **Los derechos en la globalización y el derecho a la ciudad.** Jordi Borja.
- 52/2004. **Una propuesta para un comité de Bioética de España.** Marco-Antonio Broggi Trias.
- 53/2004. **Eficacia del gasto en algunas políticas activas en el mercado laboral español.** César Alonso-Borrego, Alfonso Arellano, Juan J. Dolado y Juan F. Jimeno.
- 54/2004. **Sistema de defensa de la competencia.** Luis Berenguer Fuster.
- 55/2004. **Regulación y competencia en el sector del gas natural en España. Balance y propuestas de reforma.** Luis Atienza Serna y Javier de Quinto Romero.
- 56/2004. **Propuesta de reforma del sistema de control de concentraciones de empresas.** José M<sup>a</sup> Jiménez Laiglesia.
- 57/2004. **Análisis y alternativas para el sector farmacéutico español a partir de la experiencia de los EE UU.** Rosa Rodríguez-Monguió y Enrique C. Seoane Vázquez.
- 58/2004. **El recurso de amparo constitucional: una propuesta de reforma.** Germán Fernández Farreres.
- 59/2004. **Políticas de apoyo a la innovación empresarial.** Xavier Torres.
- 60/2004. **La televisión local entre el limbo regulatorio y la esperanza digital.** Emili Prado.
- 61/2004. **La universidad española: soltando amarras.** Andreu Mas-Colell.
- 62/2005. **Los mecanismos de cohesión territorial en España: un análisis y algunas propuestas.** Ángel de la Fuente.
- 63/2005. **El libro y la industria editorial.** Gloria Gómez-Escalonilla.
- 64/2005. **El gobierno de los grupos de sociedades.** José Miguel Embid Irujo, Vicente Salas Fumás.
- 65(I)/2005. **La gestión de la demanda de electricidad Vol. I.** José Ignacio Pérez Arriaga, Luis Jesús Sánchez de Tembleque, Mercedes Pardo.

- 65(II)/2005. **La gestión de la demanda de electricidad Vol. II (Anexos).** José Ignacio Pérez Arriaga, Luis Jesús Sánchez de Tembleque, Mercedes Pardo.
- 66/2005. **Responsabilidad patrimonial por daño ambiental: propuestas de reforma legal.** Ángel Manuel Moreno Molina.
- 67/2005. **La regeneración de barrios desfavorecidos.** María Bruquetas Callejo, Fco. Javier Moreno Fuentes, Andrés Walliser Martínez.
- 68/2005. **El aborto en la legislación española: una reforma necesaria.** Patricia Laurenzo Copello.
- 69/2005. **El problema de los incendios forestales en España.** Fernando Estirado Gómez, Pedro Molina Vicente.
- 70/2005. **Estatuto de laicidad y Acuerdos con la Santa Sede: dos cuestiones a debate.** José M.<sup>a</sup> Contreras Mazarío, Óscar Celador Angón.
- 71/2005. **Posibilidades de regulación de la eutanasia solicitada.** Carmen Tomás-Valiente Lanuza.
- 72/2005. **Tiempo de trabajo y flexibilidad laboral.** Gregorio Tudela Cambroner, Yolanda Valdeolivas García.
- 73/2005. **Capital social y gobierno democrático.** Francisco Herreros Vázquez.
- 74/2005. **Situación actual y perspectivas de desarrollo del mundo rural en España.** Carlos Tió Saralegui.
- 75/2005. **Reformas para revitalizar el Parlamento español.** Enrique Guerrero Salom.
- 76/2005. **Rivalidad y competencia en los mercados de energía en España.** Miguel A. Lasheras.
- 77/2005. **Los partidos políticos como instrumentos de democracia.** Henar Criado Olmos.
- 78/2005. **Hacia una deslocalización textil responsable.** Isabel Kreisler.
- 79/2005. **Conciliar las responsabilidades familiares y laborales: políticas y prácticas sociales.** Juan Antonio Fernández Cordón y Constanza Tobío Soler.
- 80/2005. **La inmigración en España: características y efectos sobre la situación laboral de los trabajadores nativos.** Raquel Carrasco y Carolina Ortega.
- 81/2005. **Productividad y nuevas formas de organización del trabajo en la sociedad de la información.** Rocío Sánchez Mangas.
- 82/2006. **La propiedad intelectual en el entorno digital.** Celeste Gay Fuentes.
- 83/2006. **Desigualdad tras la educación obligatoria: nuevas evidencias.** Jorge Calero.
- 84/2006. **I+D+i: selección de experiencias con (relativo) éxito.** José Antonio Bueno Oliveros.
- 85/2006. **La incapacidad laboral en su contacto médico: problemas clínicos y de gestión.** Juan Gervas, Ángel Ruiz Téllez y Mercedes Pérez Fernández.
- 86/2006. **La universalización de la atención sanitaria. Sistema Nacional de Salud y Seguridad Social.** Francisco Sevilla.
- 87/2006. **El sistema de servicios sociales español y las necesidades derivadas de la atención a la dependencia.** Pilar Rodríguez Rodríguez.
- 88/2006. **La desalinización de agua de mar mediante el empleo de energías renovables.** Carlos de la Cruz.
- 89/2006. **Bases constitucionales de una posible política sanitaria en el Estado autonómico.** Juan José Solozábal Echavarría.
- 90/2006. **Desigualdades territoriales en el Sistema Nacional de Salud (SNS) de España.** Beatriz González López-Valcárcel y Patricia Barber Pérez.
- 91/2006. **Agencia de Evaluación: innovación social basada en la evidencia.** Rafael Pinilla Pallejà.
- 92/2006. **La Situación de la industria cinematográfica española.** José María Álvarez Monzoncillo y Javier López Villanueva.
- 93/2006. **Intervención médica y buena muerte.** Marc-Antoni Broggi Trias, Clara Llubia Maristany y Jordi Trelis Navarro.
- 94/2006. **Las prestaciones sociales y la renta familiar.** María Teresa Quílez Félez y José Luis Achurra Aparicio.
- 95/2006. **Plan integral de apoyo a la música y a la industria discográfica.** Juan C. Calvi.
- 96/2006. **Justicia de las víctimas y reconciliación en el País Vasco.** Manuel Reyes Mate.
- 97/2006. **Cuánto saben los ciudadanos de política.** Marta Fraile.
- 98/2006. **Profesión médica en la encrucijada: hacia un nuevo modelo de gobierno corporativo y de contrato social.** Albert J. Jovell y María D. Navarro.

99/2006. **El papel de la financiación público-privada de los servicios sanitarios.** A. Prieto Orzanco, A. Arbelo López de Letona y E. Mengual García.

100/2006. **La financiación sanitaria autonómica: un problema sin resolver.** Pedro Rey Biel y Javier Rey del Castillo.

101/2006. **Responsabilidad social empresarial en España.** Anuario 2006.

102/2006. **Problemas emergentes en salud laboral: retos y oportunidades.** Fernando G. Benavides y Jordi Delclòs Clanchet.

103/2006. **Sobre el modelo policial español y sus posibles reformas.** Javier Barcelona Llop.

104/2006. **Infraestructuras: más iniciativa privada y mejor sector público.** Ginés de Rus Mendoza.

105/2007. **El teatro en España: decadencia y criterios para su renovación.** Joaquín Vida Arredondo.