



¿Cómo ha de producirse la transición a un modelo energético sostenible?

Margarita Mediavilla Pascual

Profesora de la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid
marga@eii.uva.es

Fecha de recepción:

Fecha de aceptación:

Sumario

1. Introducción. 2. El pico del petróleo. 3. Recursos no convencionales: ¿merece la pena extraer las últimas gotas? 4. Otras energías: carbón, gas, nuclear, renovables. 5. La sustitución del petróleo y la electricidad. 6. El cambio climático ante el declive fósil. 7. La transición energética: tecno-optimismo frente a cambios culturales. 8. El camino del «menos es más». 9. Conclusiones. 10. Bibliografía.

RESUMEN

En los últimos años son habituales las publicaciones científicas que hablan de un declive de los combustibles fósiles que comenzará con el petróleo en esta década y seguirá con el gas natural y el carbón antes de mediados de siglo. También se puede constatar que el petróleo barato y de fácil acceso ha pasado a la historia. Por otra parte, las energías alternativas no parece que puedan sustituir a los fósiles en los consumos actuales ni a los ritmos requeridos. Por ello, cada vez se ve más claramente que en esta década nos vamos a tener que enfrentar a un cambio histórico: el consumo humano de energía, que desde mediados del siglo XVIII ha venido creciendo, va a empezar a disminuir. Esto supone un choque para nuestra sociedad, que va a necesitar todo tipo de herramientas, no sólo tecnológicas sino también sociales y culturales, para adaptarse.

Palabras clave:

Pico del petróleo, decrecimiento, energías renovables, transición.



ABSTRACT

.

Key words:.



1 INTRODUCCIÓN

Quizá, de todos los aspectos de la actual crisis, la dimensión energética es la que mejor pone de manifiesto que hemos llegado a un punto de ruptura a partir del cual las cosas van a empezar a cambiar. Hace ya décadas que se denuncia lo insostenible que resulta nuestra sociedad, tanto por los problemas ecológicos que genera (cambio climático, contaminación, pérdida de biodiversidad), como por los problemas sociales (aumento de la desigualdad, injusticias). Pero es cuando echamos un vistazo a la crisis energética cuando resulta evidente que esta insostenibilidad va a forzar a un gran cambio, y probablemente más pronto de lo que pensamos. Desde este punto de vista, la crisis energética es un reto formidable, pero también una oportunidad; porque, como el síntoma de la enfermedad que nos impide seguir con nuestra vida diaria, nos va a forzar a reaccionar y enfrentarnos a un problema que no queremos ver.

Aunque las noticias sobre la crisis energética son muy escasas y en los últimos años han quedado eclipsadas por la crisis económica, las publicaciones científicas muestran, ya desde hace unos años, una preocupante realidad que debería ser motivo de intenso debate social y político, y no lo es. La propia Agencia Internacional de la Energía (que siempre ha defendido en su discurso oficial que hay suficiente energía para continuar con el crecimiento económico) reconoce desde hace cinco años que el petróleo barato y de fácil acceso ha pasado a la historia. También son habituales en las publicaciones científicas los estudios que hablan de un declive de todos los combustibles fósiles que comenzará con el petróleo en esta misma década y seguirá con el gas natural hacia 2030 y el carbón en torno a 2050. Por otra parte, las energías alternativas que podrían llenar el hueco, no parece que puedan hacerlo en los consumos actuales ni a los ritmos requeridos. Por ello, cada vez se ve más claramente que en este siglo nos vamos a tener que enfrentar a un cambio radical en la historia humana: el consumo de energía per cápita, que desde mediados del siglo XVIII ha venido aumentando, va a empezar a disminuir. Este declive podrá ser más o menos pronunciado según evolucionen las tecnologías alternativas, pero lo que sí parece claro es que el comienzo del agotamiento del petróleo en esta década va a suponer un choque para nuestra sociedad, que no está preparada para sustituirlo, es enormemente dependiente de este combustible y espera, incluso, aumentar su consumo.



2 EL PICO DEL PETRÓLEO

Una de las ideas que habitualmente surge cuando se habla de recursos energéticos es que existe petróleo suficiente para asegurar nuestro consumo durante 40 años y las predicciones que se hicieron en la década de los 70 sobre su agotamiento se equivocaron. Afirmar que «quedan reservas de petróleo para 40 años» es peligrosamente simplista, ya que, aunque si se dividen las reservas estimadas por el consumo anual el ratio es aproximadamente 40, hay que tener en cuenta que el petróleo no se pueden extraer siempre a la velocidad deseada. La cantidad de petróleo extraída en un yacimiento sigue una evolución en forma de campana, crece los primeros años, según las infraestructuras se van estableciendo, pero llega un momento que la extracción se hace más lenta. Ni las inversiones ni las mejoras técnicas pueden acelerar la producción una vez pasado el declive, ya que éste se debe a motivos geológicos (el líquido no fluye a la velocidad deseada). Esto nos viene a decir que, aunque tengamos «40 años de reservas al consumo actual» no vamos a poder extraerlas al mismo ritmo que lo hacemos ahora y mucho menos aumentar nuestro consumo un 2% anual, como hemos venido haciendo.

Este comportamiento de los pozos petrolíferos fue observado por primera vez en los años 50 por un geofísico norteamericano llamado Marion K. Hubbert, quien hablaba del pico o cénit del petróleo como el momento en el cual la extracción deja de crecer para empezar a declinar. Hubbert predijo que Estados Unidos alcanzaría su pico en torno a 1969 y estimó el cénit de la producción de petróleo mundial para 2005. Los datos históricos han venido a confirmar su teoría con asombrosa precisión (Marzo 2010). EEUU empezó a declinar en 1970 y la propia Agencia Internacional de la Energía (que durante décadas ha rechazado las predicciones de Hubbert) ha reconocido que la producción mundial de petróleo convencional o crudo, es decir, lo que Hubbert consideraba petróleo, llegó en 2006 a su pico de extracción y ya ha empezado a disminuir (IEA 2010)⁽¹⁾. Estos datos contrastan con la percepción que sobre este problema tiene la opinión pública, que sigue, en buena medida, pensando que «los agoreros que hablaban de escasez de petróleo se equivocaron».

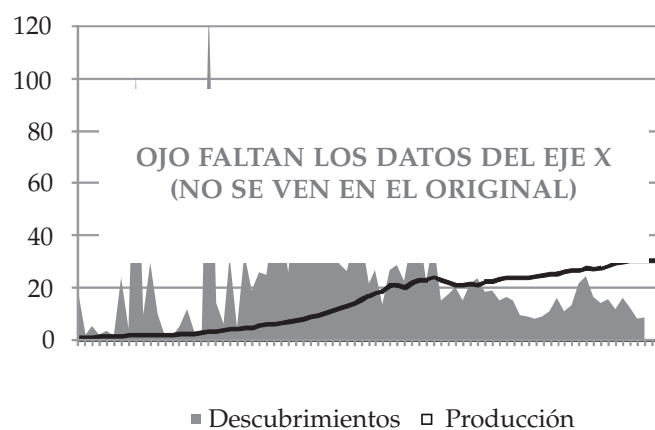
También se puede comprobar que los descubrimientos de petróleo encontraron su máximo en los años 60 (ver Figura 1) y hace décadas que descubrimos cada año varias veces menos del que consumimos. Desde el año 2005 se observa un estancamiento en los datos de producción de todo tipo combustibles

(1) Aunque la Agencia Internacional de la Energía evita hablar claramente del pico del petróleo, no prevé en sus escenarios aumentos de la producción de petróleo convencional «Crude oil output reaches an undulating plateau of around 68-69 mb/d by 2020, but never regains its all-time peak of 70 mb/d reached in 2006» (IEA 2010).



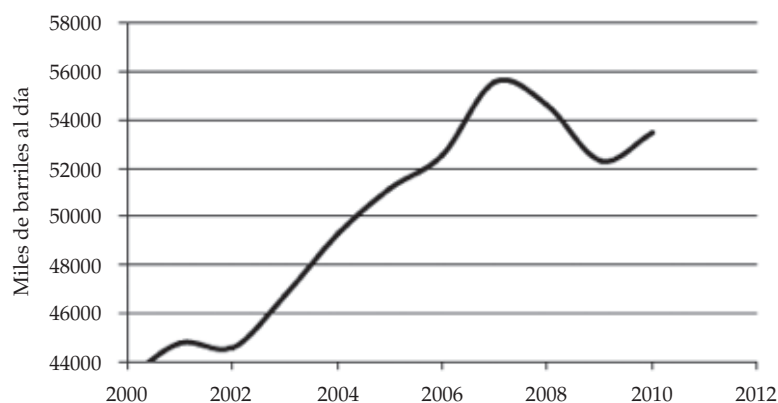
líquidos y además, las exportaciones mundiales han disminuido. Esto significa que es muy probable que el pico del petróleo esté llegando ya, y sobre todo, significa que, para países netamente importadores como el nuestro, el declive es una realidad con la que llevamos viviendo ya seis años.

Figura 1. Descubrimientos y producción de petróleo en el mundo (todo tipo de petróleos: convencionales y no convencionales)



Fuentes: BP 2011.

Figura 2. Exportaciones mundiales de petróleo



Fuentes: BP 2011.



3 RECURSOS NO CONVENCIONALES: ¿MERECE LA PENA EXTRAER LAS ÚLTIMAS GOTAS?

Dado que el petróleo convencional ya está en declive, las previsiones de aumento de consumo que realiza la Agencia Internacional de la Energía se basan en petróleos de peor calidad, los llamados no convencionales, que comprenden recursos como las arenas asfálticas, los petróleos extra pesados, los licuados del carbón o el petróleo ártico. Con el añadido de este tipo de líquidos y de los biocombustibles se ha conseguido mantener la producción prácticamente constante desde 2005. A pesar de ello, los petróleos no convencionales no están consiguiendo aumentar la producción lo suficiente para seguir la demanda y, consecuentemente, los precios suben.

Estos recursos son vistos en ocasiones como la gran esperanza energética, pero muchos piensan que apenas van a conseguir aumentar la producción, como afirma la asociación de geólogos independientes, ASPO, continuadora del trabajo de M.K. Hubbert (ASPO 2009). Además, aunque se anuncian grandes reservas para ellos, su extracción es muy difícil y por eso, el porcentaje finalmente recuperado es muy pequeño.

Por otra parte, los recursos no convencionales tienen impactos ambientales mucho mayores. Las arenas asfálticas de Canadá, por ejemplo, son arenas impregnadas de petróleo que se encuentran unos metros bajo el suelo. Extraerlas requiere talar el bosque boreal, retirar el suelo y refinarlas a base de calentarlas con gas natural. Esto está causando problemas de salud y contaminación muy graves en Canadá, donde deja enormes extensiones de tierra devastada y ríos contaminados, siendo la extensión arrasada del orden de una tercera parte de la superficie de España.

Técnicas similares de extracción de recursos no convencionales están empezando a utilizarse también en Europa para el petróleo y, sobre todo, para el gas natural. Es lo que se conoce como gas de esquisto o técnicas de fractura hidráulica («fracking»). En nuestro país se están empezando a conceder permisos para extraerlos con una oposición muy fuerte por parte de los municipios implicados, ya que las explotaciones tienen una duración de unos pocos años, los beneficios económicos para las zonas afectadas son muy escasos y la contaminación de tierras y acuíferos es muy importante.

Por todo ello es preciso que nos preguntemos muy seriamente si merece la pena extraer siquiera el petróleo y el gas no convencional o bien debemos simplemente dejarlos en el subsuelo y enfrentarnos a la amarga realidad que tenemos delante: el declive del petróleo y el gas natural están llegando mucho antes de lo que pensamos y no tienen remedio, por más que recurramos a re-



cursos caros y contaminantes. No merece la pena perder recursos naturales que sí son renovables y de gran importancia como las aguas, las tierras y los bosques, para conseguir las últimas gotas fósiles. A pesar de que tenemos una sociedad muy poco preparada para afrontar esta realidad; que, además, no sabe que tiene una crisis energética y espera seguir aumentando su consumo, debemos empezar a planificar seriamente la transición sin perder tiempo en sostener un modelo energético que tiene los días contados.

4 OTRAS ENERGÍAS: CARBÓN, GAS, NUCLEAR, RENOVABLES

El gas natural y el carbón abastecen el 48% de la energía primaria utilizada en el mundo y, aunque no están sujetos a un declive tan inmediato como el del petróleo, las previsiones hablan de picos de extracción en torno a 2020-35 para el gas (Lahèrre 2006) y antes de 2040 para el carbón (Mohr 2009, Mediavilla 2013). Todavía se estima que podemos aumentar un 15% o un 20% la extracción de carbón y gas natural, pero esto no significa que no haya problemas de suministro. La sustitución técnica requiere décadas y deberíamos estar ya construyendo las infraestructuras necesarias para ello. Además es previsible que intentemos sustituir el petróleo con gas natural o líquidos extraídos del carbón, lo que pondrá más presión sobre estos recursos. De todas formas, es preciso puntualizar que hay que tener un poco de precaución a la hora de hablar de techos de extracción para el carbón. Así como el límite de extracción del petróleo y el gas son fenómenos muy claros, el del carbón es más relativo. Al ser un mineral, aunque según se va agotando la extracción es más difícil, con mayor esfuerzo se puede aumentar el ritmo.

La energía nuclear en muchas ocasiones es vista como la esperanza de futuro pero, además de ser contaminante y peligrosa, también se basa en recursos agotables. Los reactores de fisión (los actualmente utilizados) se basan en el consumo de uranio, un mineral muy escaso. El uranio se prevé que empiece a encontrar problemas de declive en torno a 2050 (EWG 2006), lo cual significa que no habría uranio suficiente para una segunda generación de centrales que reemplazasen a las actuales. Se han intentado desarrollar reactores de fisión que no requieren tanto uranio (los llamados de cuarta generación), pero los resultados no han sido muy positivos y actualmente no hay reactores de este tipo en construcción. También se ha investigado durante más de 40 años en la energía nuclear de fusión, que usa como materia prima el hidrógeno, pero todavía se encuentra en fase de experimentación y sus promotores no esperan reactores comerciales antes de 2040. De todas formas, la energía nuclear está disminuyendo en los últimos años, en parte por el desastre nuclear de Fukushima y en parte porque las energías renovables se están abaratando y resultando más rentables.



Las energías renovables se postulan como las candidatas más serias para sustituir el declive de las fósiles. Algunas de ellas, como la eólica, la hidráulica, la solar térmica y la fotovoltaica, se pueden considerar tecnologías ya maduras y están dando resultados interesantes. Se espera que otras tecnologías como la solar termoeléctrica, la mareomotriz, o la geotérmica puedan mejorar sus rendimientos en próximas décadas. Sin embargo, hay que tener en cuenta que las energías renovables son intermitentes, lo cual obliga a sobredimensionar las instalaciones y contar con sistemas de apoyo. Además son muy dispersas, lo que significa que ocupan grandes extensiones de terreno. Por añadidura, la mayor parte de ellas sólo proporcionan energía en forma de calor o electricidad, no en forma de combustibles, y el almacenamiento de energía es un problema técnico complicado. Las únicas energías renovables que dan combustibles actualmente son las que se basan en recursos biológicos, como la biomasa o los biocombustibles, y requieren la utilización de los ecosistemas que ya están siendo explotados a ritmos insostenibles.

Cuando hablamos de energías renovables tenemos que ser conscientes de un hecho: nos hemos acostumbrado a los combustibles fósiles que son un auténtico oro negro. La cantidad de energía que contiene un litro de gasolina, por ejemplo, es 100 veces la que acumula una batería actual del mismo volumen (Hacker 2009). Volver a basar nuestra sociedad en el flujo limitado de energía renovable supone enfrentarnos de nuevo con la realidad de un mundo finito, donde la energía viene del sol y depende del territorio.

Los estudios que estamos realizando en nuestro Grupo de Investigación en Energía y Dinámica de Sistemas de la Universidad de Valladolid (De Castro 2012) muestran que, por ejemplo, la energía eléctrica que actualmente está consumiendo la humanidad requeriría una superficie de paneles fotovoltaicos similar a la ocupada por la tercera parte de las infraestructuras humanas. Esto es un esfuerzo considerable en términos de inversiones, uso de terreno y materiales. Aumentar todavía más el nivel de producción para poder sustituir todos los combustibles fósiles supondría unos impactos y unos costes desorbitados, de forma que, antes de llegar a ello, probablemente nos planteemos si realmente necesitamos tanta energía y acabemos pensando que es más sensato diseñar nuestras sociedades de otra forma.

5 LA SUSTITUCIÓN DEL PETRÓLEO Y LA ELECTRICIDAD

Cuando hablamos de transición energética no podemos pensar en sustituir de forma abstracta unas formas de energías por otras sin tener en cuenta los usos concretos a los que se aplican. Así, por ejemplo, el transporte está basado



casi al 100% en el petróleo, mientras el calor o la electricidad pueden generarse con un abanico más amplio de tecnologías. Puesto que el declive de los combustibles usados para electricidad y calor (carbón, gas, uranio) no se espera hasta próximas décadas y es relativamente sencillo generar energía en estas formas, todavía tendríamos tiempo de realizar la transición para los usos eléctricos y térmicos.

Sin embargo, el panorama es completamente diferente cuando hablamos de petróleo. El petróleo es el primer combustible que está entrando en declive y no sólo es indispensable para el transporte, es también la materia prima de los abonos químicos y pesticidas, esenciales en la agricultura actual. Estamos lejos de tener sustitutos técnicos válidos a gran escala, por ello, la clave de la transición energética va a estar, no tanto en lo que conocemos como energías renovables (eólica, solar), sino en ver si somos capaces de adaptarnos al pico del petróleo en esta misma década.

Veamos de forma más detallada los problemas técnicos que se encuentran a la hora de compensar el declive del petróleo. Los sustitutos más inmediatos en el transporte (el uso más problemático), son los biocombustibles y algunos combustibles líquidos extraídos del gas natural, el carbón y subproductos del refinado del petróleo (son los conocidos como «coal to liquids» o «gas to liquids», LPG, etc). Un poco más complicada es la sustitución por el coche eléctrico e híbrido, tecnologías que necesitan vehículos diferentes pero ya se comercializan. El vehículo basado en hidrógeno, los combustibles sintéticos, el biogás y alternativas similares se encuentran en fase de desarrollo o no han llegado al mercado (UE 2011). Otras formas de ahorro como el transporte público, las bicicletas o cambios en los patrones de producción y consumo no requieren avances tecnológicos, pero sí importantes cambios culturales.

Todas estas alternativas poseen importantes inconvenientes. Los biocombustibles (o agrocombustibles), por ejemplo, son extraídos de plantas y actualmente se obtienen básicamente de cultivos comestibles. Su principal inconveniente es que tienen unos rendimientos muy escasos y necesitan enormes extensiones de tierras. Por ejemplo: si quisiéramos mover todos los vehículos del mundo con ellos (usando los rendimientos actuales) necesitaríamos más del doble de las tierras arables del planeta (Mediavilla 2013). Aunque los rendimientos pueden mejorar por el avance tecnológico, es más probable que empeoren, porque ahora se están cultivando en los mejores suelos y el rendimiento de la fotosíntesis es muy bajo. Los biocombustibles apenas sustituyen actualmente al 1,5% del petróleo y ya están causando importantes problemas de acaparamiento de tierras, deforestación de selvas, competencia con los alimentos y erosión. La propia Unión Europea ha corregido reciente-



mente a la baja sus objetivos de sustituir un 10% del consumo de petróleo en 2020 con ellos. Por otra parte, los combustibles líquidos extraídos del gas natural o el carbón pueden servir para cubrir la demanda durante un tiempo, pero no dejan de basarse en recursos limitados que ya tienen muchos usos.

Por otra parte, los vehículos híbridos se encuentran en el mercado pero no dejan de ser coches de gasolina más eficientes, porque su autonomía como vehículo puramente eléctrico es muy escasa. Los coches eléctricos también se basan en tecnologías bien conocidas, pero poseen un inconveniente que hace que no terminen de popularizarse: su escasa capacidad de acumulación. Teniendo en cuenta la mayor eficiencia del motor eléctrico y la tecnología de baterías que se puede esperar en esta década, el coche eléctrico almacena 15 veces menos energía que un vehículo de gasolina (UE 2011). Debido a ello, terminan siendo pequeños, con poca autonomía y con mala relación prestaciones-precio.

Otra de las limitaciones del vehículo eléctrico son los materiales. Las baterías que actualmente parecen más prometedoras están basadas en litio y, si descontamos el que se necesitaría para otras aplicaciones y suponemos que se realiza un reciclaje total del mismo, las reservas conocidas (Angerer 2009, Mediavilla 2013) permiten un parque de unos 400 millones de vehículos (frente a los 800 del actual). Aunque es posible que se puedan explotar más reservas de litio, o se desarrollen baterías de otro tipo o se opte por vehículos más ligeros como las motocicletas eléctricas, este dato nos enfrenta a un aspecto que no deberíamos despreciar: la naturaleza limitada de los minerales clave de la tecnología (y lo absurdo que resulta tirarlos en vertederos, como hacemos actualmente, cuando deberíamos reciclarlos todos a tasas cercanas al 100%).

A pesar de sus limitaciones, el vehículo eléctrico tiene un impacto ambiental mucho menor que los biocombustibles, porque no requiere tanto espacio para generar la energía con la que se alimenta. Por ejemplo, la superficie necesaria para un coche eléctrico que usara electricidad fotovoltaica es 50 veces menor que la requerida por un vehículo de explosión con biocombustibles (Mediavilla 2013). Esto quiere decir que el vehículo eléctrico puede ser una alternativa para la movilidad (con electricidad de fuentes renovables y una combinación de vehículos de dos ruedas, transporte público y vehículos ligeros de carga), pero los biocombustibles no van a poder ser más que un recurso muy limitado restringido a usos concretos.

Existen tecnologías en fase de desarrollo, como los combustibles extraídos de residuos o de microalgas, los vehículos de hidrógeno y los coches eléctricos con baterías mucho más ligeras, que pueden ser mejores alternativas al petróleo, pero todavía no están en el mercado y probablemente necesiten años de desarrollo.



Pero quizá donde mejor se ve que no hay soluciones exclusivamente tecnológicas al pico del petróleo es cuando analizamos los ritmos del declive. En los estudios que hemos realizado en nuestro grupo (Mediavilla 2013) comparamos los picos del petróleo que proponen varios geólogos con las políticas más optimistas de fomento de biocombustibles y vehículos eléctricos de la Agencia Internacional de la Energía (IEA 2009). En la Figura 3 se puede ver que la sustitución que se conseguiría con ellas es incapaz de cubrir la demanda para un crecimiento económico mundial menor que el de décadas pasadas, un 2% (usando tendencias consumo de petróleo versus PIB similares a las de décadas anteriores).

Todo esto pone de manifiesto que no tenemos tiempo para superar el pico del petróleo. Incluso si las políticas más optimistas pudieran materializarse o incluso si existieran tecnologías «milagrosas» que todavía no conocemos, la sustitución técnica llega tarde. Las previsiones de declive menos severas (Lahèrre 2006) sólo consiguen posponer el problema hasta 2020, y los datos de producción de petróleo de los últimos cinco años están dando la razón a previsiones más bajas (ASPO 2009, Aleklett 2010). Tampoco las políticas de implantación del coche eléctrico que hemos tomado se pueden considerar realistas, porque el número de vehículos eléctricos vendidos en 2012 apenas llegó a 113.000 unidades en todo el mundo y necesitaríamos más de diez millones de nuevos vehículos eléctricos al año para las políticas de la Figura 3.

Un estudio similar sobre el futuro del transporte en la Comunidad Autónoma Vasca realizado recientemente (Bueno 2012), llega a conclusiones similares: las soluciones técnicas son claramente insuficientes. Va a ser necesario adoptar todas las medidas a la vez, tanto las tecnológicas (eficiencia, electrificación), como las sociales (transporte público, relocalización económica) y, aún así, puede no ser suficiente.

Por otra parte, en nuestro estudio hemos analizado también el declive de la energía eléctrica y llegamos a conclusiones diferentes: todavía podríamos realizar la transición de la electricidad si fuéramos capaces de reaccionar adecuadamente. En la Figura 4 (abajo), por ejemplo, se puede ver el resultado de uno de los escenarios que hemos planteado. En él imaginamos que la economía mundial se ve frenada por la escasez de petróleo y por ello la demanda de energía eléctrica crece de forma muy moderada. Si el crecimiento de las energías renovables fuera alto no encontraríamos escasez e incluso podríamos tener una electricidad prácticamente 100% renovable en 2050 (realizando un esfuerzo importante— ver García-Olivares 2012). Aunque, si planteamos un escenario «business as usual» con un crecimiento económico del 2%, como el que aparece en la Figura 4 (arriba), todo cambia. En este escenario encontramos problemas de suministro antes de 2025, porque se alcanzaría el techo de extracción del carbón y el crecimiento de las renovables es insuficiente.



Figura 3. Estimaciones de demanda de petróleo mundial resultante de un crecimiento económico del 2% comparadas con la extracción máxima estimada por diversos autores y con el equivalente que representarían la introducción de biocombustibles (hasta multiplicar por siete la producción actual) y vehículos eléctricos (con un aumento lineal hasta que en 2050 un 57% de los vehículos mundiales fueran eléctricos y un 37% híbridos)

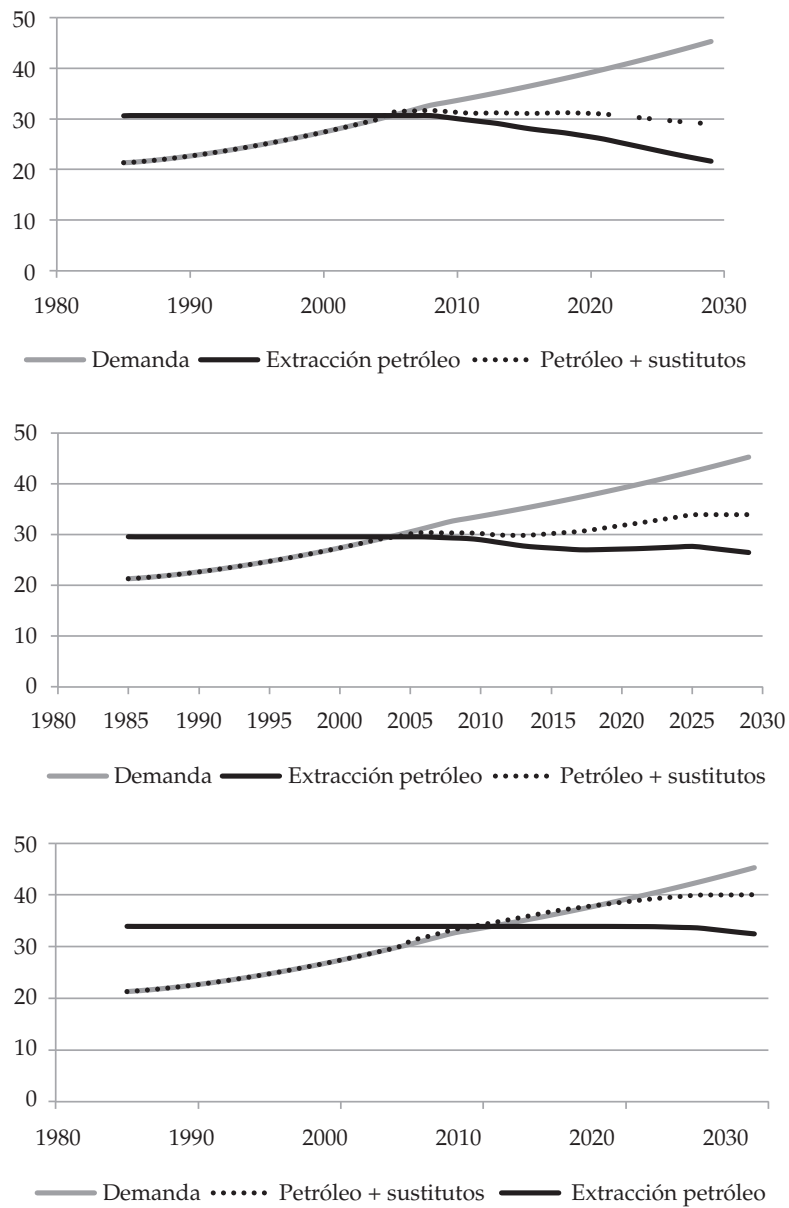
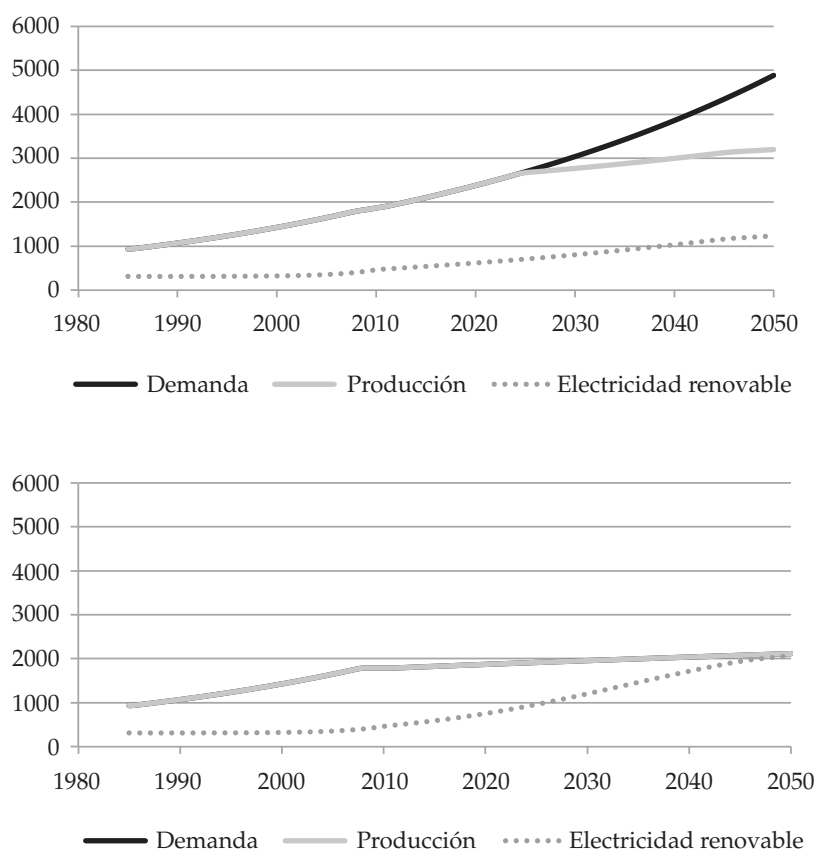




Figura 4. Estimaciones de demanda de electricidad mundial resultante de un crecimiento económico del 2% (arriba) y un crecimiento cero (abajo), comparadas con la producción que podría generarse con fuentes tanto renovables como no renovables. En la figura de abajo las curvas de demanda y producción coinciden (no existen problemas de escasez energética). La electricidad renovable se ha dibujado en las líneas de puntos para poder visualizar la proporción de energía eléctrica de estas fuentes. El crecimiento de las renovables es un 8% (arriba) y un 13% (abajo).



Todo esto pone de manifiesto que el llamado «business as usual», es decir, continuar con el crecimiento económico y los patrones de consumo actuales confiando en la sustitución tecnológica, no es posible. Algo va a cambiar en esta misma década (si no lo está haciendo ya). O bien el crecimiento económico dejará de ser como en décadas pasadas o bien cambiaremos sustancialmente nuestros patrones de consumo de petróleo.



Si no sabemos reaccionar rápidamente y cambiar la relación entre el crecimiento económico y la energía, es de esperar que el pico del petróleo tenga consecuencias muy desagradables, como el hundimiento de los sectores productivos más sensibles (aerolíneas, automóvil, agricultura, turismo, etc.); también se puede esperar que los países menos capaces de generar PIB con poco petróleo entremos en recesión mientras los exportadores crecen; y no es difícil prever que amplias capas de población vayan paulatinamente viéndose descolgadas del consumo y cayendo en la marginación y la pobreza. De hecho, desde 2008, todas estas tendencias se están viendo ya de una u otra manera; y algunas de ellas son especialmente evidentes en nuestro país, que es muy vulnerable, por su elevado consumo per cápita y su prácticamente nula producción.

6 EL CAMBIO CLIMÁTICO ANTE EL DECLIVE FÓSIL

Una de las consecuencias positivas que puede traer el pico del petróleo es el hecho de que las emisiones de carbono van a reducirse por fuerza. Sin embargo, no hay que ser excesivamente optimistas con esta posibilidad porque, si bien es cierto algunos de los peores escenarios de cambio climático que propone el IPCC no parecen posibles porque no existen suficientes combustibles fósiles (Alekklett 2007), sí hay escenarios de emisiones de consecuencias bastante preocupantes que son posibles. Además, incluso escenarios con emisiones relativamente bajas, como aquellos que estiman menos de 2°C de aumento de temperatura, son capaces de causar trastornos muy graves en la biodiversidad, el clima, los ecosistemas y también los cultivos de los que depende nuestra alimentación.

Por otra parte, cabe la posibilidad de que se opte por compensar el declive del petróleo a base de aumentar el consumo de carbón, en lugar de hacerlo mediante el ahorro y la electricidad renovable. Esto traería consigo un aumento de las emisiones de CO₂, al ser el carbón el combustible más contaminante, y sería uno de los peores escenarios que podemos dibujar. Serviría para que la sociedad no realizase la transición energética ni abandonase el crecimiento, de forma que cuando llegase el declive del carbón, la caída sería mucho peor. A todo ello habría que sumar las consecuencias desastrosas de un cambio climático que ya podría entrar dentro de escenarios muy preocupantes.



7 LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA: TECNO-OPTIMISMO FRENTE A CAMBIOS CULTURALES

Después de haber hablado extensamente de *cómo no puede ser* la transición hacia las energías renovables vamos a ver si somos capaces de hablar de alternativas, para intentar esbozar qué futuro sí es posible y cómo podemos avanzar hacia él.

En los últimos años están apareciendo estudios que hablan de la capacidad de las energías renovables de abastecer nuestras necesidades y ser, además, creadoras de *empleos verdes* (Greenpeace 2007, ISTAS 2007, CONAMA 2010). Algunas de estas tecnologías (eólica, hidroeléctrica) ya se han mostrado capaces de abastecer un porcentaje elevado de la demanda eléctrica y otras (fotovoltaica, solar termoeléctrica) están ya en el mercado y sus costes de instalación están disminuyendo.

Sin embargo, no deberíamos pensar sólo en generar energía renovable, sino en realizar un cambio tecnológico. Nuestra sociedad y nuestra tecnología se han formado en base a la energía fósil (concentrada, almacenada) y deben pasar a basarse en un tipo de energía muy diferente (dispersa, difícil de acumular). Esto va a necesitar cambiar muchas infraestructuras y, en buena medida, también muchas mentalidades. Además de desarrollar, por ejemplo, coches eléctricos o paneles solares, debemos diseñar ciudades, redes eléctricas y legislaciones que permitan usar estos coches y paneles. Y, sobre todo, antes de hablar de energías renovables, deberíamos recordar las medidas de ahorro energético, que son muchas y tienen mucho potencial todavía sin desarrollar.

El transporte público, el ferrocarril y las bicicletas, por ejemplo, son alternativas bien conocidas al modelo de movilidad que impera en nuestras ciudades. El simple uso de bicicletas o motocicletas eléctricas proporciona un enorme ahorro energético aumentando incluso la calidad de vida, ya que está demostrado que en recorridos urbanos de menos de cinco kilómetros la bicicleta es igual de rápida que el automóvil y además evita el ruido y la contaminación, requiere mucho menos espacio público y ayuda a prevenir enfermedades (Pizzinato 2009).

También existen soluciones para disminuir el consumo de energía en los edificios. La arquitectura bioclimática es capaz de construir viviendas con necesidades energéticas mínimas y la sola mejora del aislamiento puede reducir en un 50% el gasto en calefacción. Además sólo es necesario ver qué tipo de viviendas construimos para darse cuenta de que podemos reducir enormemente nuestro consumo. No es difícil ver edificios con enormes zonas acristaladas



orientadas al norte (que aumentan espectacularmente los gastos de calefacción) en lugar de al sur (que funciona como una calefacción en invierno y se refrigera fácilmente en verano), o viviendas sin aislantes en tejados ni fachadas. La rehabilitación de edificios orientada al ahorro energético puede ser, además, una fuente de puestos de trabajo, ya que el ahorro compensa la inversión realizada (ISTAS 2011)

La enorme dependencia que la agricultura química tiene respecto al petróleo puede ser superada cambiando el modelo actual por técnicas de agricultura ecológica. Con ellas se evita el consumo de abonos químicos y pesticidas y, aunque también requieren maquinaria, su uso es menor. Además los rendimientos de la agroecología han mejorado en los últimos años hasta poder prácticamente compararse con los de la agricultura química y ser considerada por la ONU la mejor opción para acabar con el hambre (ISTAS 2010, Aguilera 2009).

Otro de los aspectos en los cuales el derroche energético es evidente es la fabricación y distribución de todo tipo de manufacturas. El caso de los alimentos es paradigmático ya que se estima que éstos viajan una media de 4.000 kilómetros antes de llegar a nuestra mesa, cuando gran parte de los mismos pueden ser producidos en el entorno cercano. De hecho, se estima que casi la mitad de las emisiones de gases de efecto invernadero (y paralelamente del consumo energético) se deben al modelo agroindustrial y a su forma de producir, procesar, distribuir y conservar los alimentos (Duch 2010).

Figura 5. Volumen de las importaciones y exportaciones de helados y patatas entre el Reino Unido, Italia y Egipto en el año 2007. El mercado global de alimentos podría tener algún sentido si determinados países se especializasen en los productos en los que son más competitivos (aunque a costa de un enorme gasto energético). Sin embargo, el comercio actual de alimentos no sigue siquiera esa lógica (Pigem 2011)



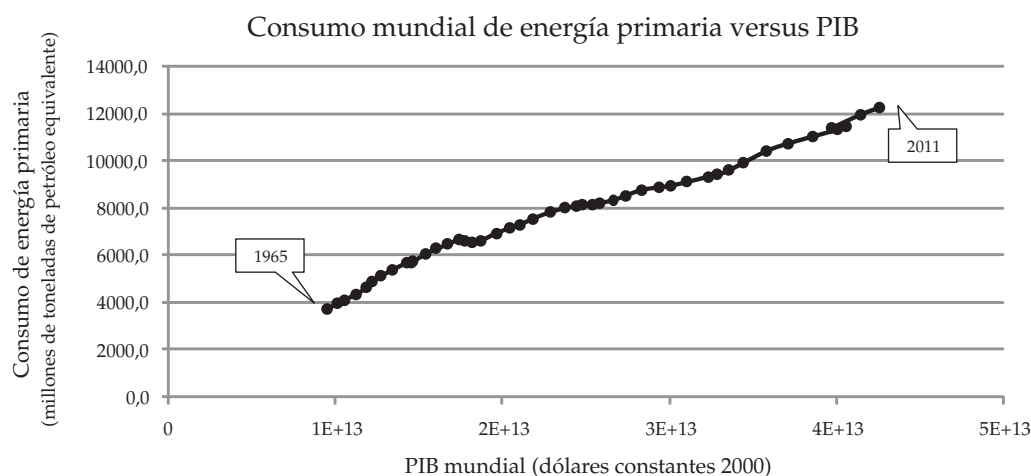


8 EL CAMINO DEL MENOS ES MÁS

Sin embargo, no debemos dejarnos engañar por utopías tecno-optimistas que basan toda la solución en tecnologías o incluso en el ahorro. Es evidente que todas las soluciones que hemos descrito son conocidas desde hace décadas y, a pesar de ello, pasan los años y los avances conseguidos son sólo testimoniales, mientras se constata el fracaso de las cumbres internacionales por el clima.

Es también evidente que muchas de las actividades que han impulsado el crecimiento económico se basan en aumentar el consumo de energía (comercio internacional, construcción, automóvil, etc.). Los datos muestran que crecimiento económico y consumo energético han corrido paralelos en los últimos años, e incluso siglos, aunque no siempre ese constante aumento del PIB haya traído un aumento equivalente de la calidad de vida (Figura 6).

Figura 6. Consumo de energía en el mundo en función del PIB (inflación descontada)



Vivimos en una sociedad que ha hecho del crecimiento la base de su economía y nos empuja siempre a mayores consumos energéticos. Es comprensible que medidas de ahorro como la bicicleta o la relocalización no entren dentro de la lógica imperante. Si el agotamiento de los combustibles fósiles nos va a forzar a consumir menos va a traer también un cambio cultural muy profundo: pasar de un mundo en expansión a un mundo limitado. La so-



ciudad occidental apenas tiene referencias culturales ni teorías económicas para este tipo de sociedad limitada e incluso decreciente.

Por ello, cuando hablamos de transición a las energías renovables, aunque parezca paradójico, no tenemos que hablar principalmente de energía ni de tecnología. Debemos adoptar un enfoque mucho más sistémico y global, porque el problema es también sistémico. Es absurdo, por ejemplo, dedicar millones de euros a diseñar vehículos que consumen menos gasolina si el *mercado* nos fuerza a comprar coches más grandes, recorrer más kilómetros y desechar antes los vehículos, con el fin de hacer que un modelo económico basado en el usar y tirar pueda funcionar. Tenemos una sociedad basada en el crecimiento que se enfrenta al declive de la energía que alimenta todo ese crecimiento. Tenemos que hacer, ahora más que nunca, un esfuerzo por pensar globalmente antes de actuar.

Nuestra sociedad se mueve por la inercia de un sistema diseñado en el siglo XIX, cuando la humanidad empezaba a tener capacidad para explotar el tesoro de los combustibles fósiles y empezábamos a subir rápidamente la curva del consumo energético. Ahora estamos entrando en el cenit de esa curva y toca cambiar de rumbo. Vamos a tener que iniciar la difícil transición hacia un mundo de energía limitada, probablemente con un consumo final menor que el actual. Tenemos que prepararnos para una sociedad muy diferente a la de los últimos siglos, y lo primero que deberíamos hacer es cambiar nuestras viejas ideologías, que ya no responden a la realidad.

Por ello, todo eso que se ha dado en llamar *capitalismo verde*, y tiene como objetivo estimular el crecimiento económico a base de actividades empresariales supuestamente *sostenibles* como los biocombustibles, las energías renovables o los transgénicos; es absurdo y sólo está sirviendo para sobreexplotar todavía más los recursos naturales. No es cuestión de que el capitalismo se dé un barniz de energías renovables para *volverse verde*, es necesario superar esa suicida tendencia al crecimiento y la sobreexplotación que tiene nuestra economía capitalista si queremos enfrentarnos con éxito al pico del petróleo y a la crisis general de sostenibilidad.

Pero quizá lo primero que debemos hacer en estos momentos es ser conscientes de la realidad. Es inadmisibile que un tema como el pico del petróleo no esté continuamente en las primeras páginas de los diarios pero sí sea ya una teoría ampliamente aceptada en las publicaciones científicas y los informes oficiales. Si la sociedad vive anestesiada y sin saber porqué está enferma, no va a ser capaz de sanar.

Estamos en el cenit. Es posible que estemos viviendo el momento en el que ser humano va a poder usar más energía en toda su historia. Deberíamos de-



dicar la energía fósil que nos queda y los conocimientos científicos que hemos acumulado para realizar con éxito la transición. Cuando los combustibles fósiles se acaben tendremos que volver a basar todas nuestras actividades en el flujo de energía que viene del sol, como hacíamos antes del siglo XIX. Si conseguimos desarrollar tecnologías renovables superiores a las de entonces, podremos mantener una población y una calidad de vida mayor; si no, tendremos que volver a la tecnología del siglo XVIII y eso significa el colapso, puesto que la población es ocho veces mayor.

Es preciso investigar en nuevas tecnologías pero hay que tener en cuenta que no siempre lo que llamamos *energías renovables* pueden servirnos para el futuro, porque muchas de ellas se diseñan con la mentalidad actual, que no tiene en cuenta la finitud de los recursos. Diseñar una tecnología pensada para durar requiere, entre otras cosas, cambiar la mentalidad reduccionista, tan habitual en la ciencia actual, y usar un enfoque holista que contemple las máquinas, los ecosistemas, las personas, la organización social, etc. Existen grupos que ya están trabajando con esta filosofía, es lo que se conoce como permacultura, pero todavía es un área marginal que sobrevive alejada de las universidades y los grandes programas de investigación.

9 CONCLUSIONES

A pesar de lo desconocida que es, la crisis energética es muy grave y urgente. En esta misma década debemos enfrentarnos al estancamiento y declive de la producción de petróleo. También es probable que el cenit de todos los combustibles fósiles y el uranio llegue antes de mediados de siglo. La crisis energética es especialmente grave para el petróleo, del cual depende prácticamente el 100% del transporte, y menos acusada para el carbón y el gas natural, de los que dependen la electricidad y otros usos. Superar el pico del petróleo nos va a obligar a ir mucho más allá de la tecnología porque las soluciones técnicas son claramente insuficientes y llegan tarde. Vamos a necesitar tanto medidas tecnológicas (energías renovables, electrificación), como sociales (transporte público, relocalización).

Nos enfrentamos a una crisis energética que va a necesitar también, en buena medida, un gran cambio de mentalidad. Quizá la mejor manera de enfrentarnos a ella es recordar las dos recomendaciones básicas que hicieron los autores de los estudios sobre los límites del crecimiento (Meadows 1972) en los años 70: es preciso adoptar una visión global, porque todos los problemas interaccionan entre sí; y es esencial superar la dinámica del crecimiento, porque hace imposible cualquier solución.



10 BIBLIOGRAFÍA

- AGUILERA, E. (2009): Hacia la autosuficiencia energética en el cereal de secano: estudio de caso en Orce (Granada). Tesis doctoral. Universidad de Córdoba.
- ALEKLETT, K. (2007): Reserve driven forecast for oil, gas & coal and limits in carbon dioxide emissions. International Transport Forum, OECD/ITF.
- ALEKLETT, K., HÖÖK, M., JAKOBSSON, K., LARDELLI, M., SNOWDENE, S.y., SÖDERBERG, B. The peak of the oil age: analyzing the world oil production reference scenario in World Energy Outlook 2008. *Energy Policy* 38(3), pp. 1398-1414, March 2010.
- ANGERER, G. (2009): *Raw materials for emerging technologies, the case of Lithium*. Conference Eco-Efficient Economy Seminar on Raw Materials. A Scare Resource in a Sustainable World.
- ASPO (2009): Newsletter no. 100.
- BP (2011): Statistical Review of World Energy, <http://www.bp.com/statisticalreview>
- BUENO, G. (2010): Analysis of scenarios for the reduction of energy consumption and GHG emissions in transport in the Basque Country. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol 16(4), pp. 1988-1998.
- De CASTRO, C., Global solar limit (draft) http://www.eis.uva.es/energiasostenible/?page_id=17
- DUCH, G. (coord.) (2010): *Asfixia en el supermercado*. Editado por Revista Soberanía Alimentaria y Mundubat.
- CONAMA (2010): Cambio Global España 2020-2050, energía, economía y sociedad. Resumen Ejecutivo. Centro Complutense de Estudios e Información Medioambiental y Fundación CONAMA. http://www.ucm.es/info/fgu/pensamiento/cceim/index_cceim.php
- EWG (2006): Energy Watch Group report: *Uranium resources and nuclear energy*. EWG-Series No 1/2006.
- IEA (2010): International Energy Agency) *World Energy Outlook*.
- IEA (2009): International Energy Agency. *Transport, Energy and CO₂, Moving Toward Sustainability*.
- ISTAS (2011): Estudio sobre la generación de empleo en la rehabilitación y modernización energética de edificios y viviendas. Resumen Ejecutivo. Programa Emplea Verde 2007-2013, ISTAS.
- ISTAS (2007): Energías Renovables y generación de empleo en España, presente y futuro. Resumen Ejecutivo. ISTAS.



- ISTAS (2010): Agricultura ecológica y rendimientos agrícolas: aportación a un debate inconcluso.
- GARCÍA-OLIVARES, A., BALLABRERA-POY, J., GARCÍA-LADONA, E., TURIEL, A. A global renewable mix with proven technologies and common materials. *Energy Policy*. Volume 41, 561–574, 2012.
- GREENPEACE/EREC (2008): *Energy [R]evolution 2008—a sustainable world energy outlook*. Published by Greenpeace International and the European Renewable Energy Council (EREC), /www.energyblueprint.infoS.
- HACKER, F., HARTHAN, R., MATTHES, F., ZIMMER, W. *Environmental impacts and impact on the electricity market of a large scale introduction of electric cars in Europe, Critical Review of Literature*. ETC/ACC Technical Paper 2009/4, July 2009.
- LAHÈRRERE, J. (2006): *Oil and gas: what future?* Groningen annual Energy Conventio.
- MARZO, M. (2010): El suministro global de petróleo: retos e incertidumbres. Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona, Tercera época, no. 1026, vol. LXIV, num. 9.
- MEADOWS, D., MEADOWS, D., RANGERS, J., BERHENS, W. (1972): *The Limits to Growth*. Universe Books, New York.
- MEDIAVILLA, M., DE CASTRO, C., CAPELLÁN, I., MIGUEL, L. J., ARTO I., FRECHOSO, F. (2013): The transition towards renewable energies: physical limits and temporal conditions, *Energy Policy*, vol. 52, pp. 297-311. (La transición hacia energías renovables http://www.eis.uva.es/energiasostenible/?page_id=17)
- MOHR, S., EVANS, G. (2009): Forecasting coal production until 2100. *Fuel* vol. 88, pp. 2059-2067.
- PIGEM, J. (2011): *GPS (global, personal, social): valores para un mundo en transformación*. Kairós.
- PIZZINATO, S. (2009): *Transporte: el motor del Cambio Climático*. Greenpeace España.
- UE (2011): *Future Transport Fuels*. Report of the European Expert Group on Future Transport Fuels.