

El futuro de los combustibles fósiles

José María Marín Quemada
Enrique San Martín González

Grupo de Investigación Economía Política Internacional – Energía
Departamento de Economía Aplicada
Universidad Nacional de Educación a Distancia – UNED

Introducción: del Gatopardo de Lampedusa a las energías renovables

Corren tiempos de transformación. La crisis financiera y fiscal va suponer un punto de inflexión más que notable y con consecuencias duraderas. El consumo de energía se ha frenado en la zona OCDE, al tiempo que se mantienen tasas de crecimiento significativas en los países emergentes, en China e India. Todo ello implicará, entre otros efectos, profundos cambios en las relaciones y tensiones geoestratégicas. El modelo global en política, en economía y desde luego, en energía, va a cambiar y pocas cosas van a ser iguales, en un tránsito que se adivina complejo y costoso.

Después de más de dos siglos de predominio de los combustibles fósiles, se extiende la idea de que a lo largo del siglo XXI se va a producir su gradual sustitución por fuentes de energía renovables. Las propuestas más radicales en este sentido proponen una generación de energía eléctrica 100% renovable (Greenpeace España, 2007; PriceWaterhouseCoopers, 2010) e incluso un suministro energético total 100% renovable (Jacobson y Delucchi, 2009 y 2010).

Para analizar el futuro de los combustibles fósiles se ha dividido este artículo en cuatro partes. En la primera repasaremos brevemente la situación actual de los combustibles fósiles en el suministro energético mundial. En un segundo apartado analizaremos los factores fundamentales que van a configurar el desarrollo futuro de dichos combustibles, así como la posibilidad de los escenarios 100% renovables. La tercera parte se la dedicaremos a las perspectivas existentes en cada uno de los combustibles fósiles (petróleo, gas natural y carbón), para terminar, en el cuarto apartado con algunas conclusiones y recomendaciones de política energética.

1. Los combustibles fósiles en el suministro energético mundial

En la actualidad, más del 80% del suministro mundial de energía, es decir, más de cuatro quintas partes, proviene de los combustibles fósiles, es decir, el petróleo, el gas natural y el carbón. A nivel mundial, el petróleo proporciona un tercio de las necesidades energéticas globales, el carbón más de una cuarta parte y el gas natural más

de un quinto. El 20% restante es suministrado por la energía nuclear (6%) y las fuentes de energía renovables (13%), entre las que se encuentran no solo la energía solar, la eólica y las demás energías renovables “modernas”, sino también la energía hidroeléctrica convencional y el uso tradicional de la biomasa y otros residuos que no suelen ser intercambiados en los mercados.

Tabla 1: Demanda total de energía primaria por fuente de combustible

	Mundo	OCDE	No OCDE
Petróleo	33%	38%	26%
Gas natural	21%	23%	20%
Carbón	27%	21%	34%
Nuclear	6%	11%	2%
Renovables	13%	7%	18%
Total	100%	100%	100%
C. Fósiles	81%	82%	80%

Fuente: AIE (2010a) y elaboración propia.

La utilización de las distintas fuentes de energía difiere entre los países desarrollados y los países en desarrollo (tabla 1) como se puede ver en el *mix* de energía primaria para los países OCDE y no OCDE. Sin embargo, aunque tradicionalmente el consumo de energía en términos absolutos era mucho mayor en los países desarrollados, en 2007 el consumo de energía de los países no OCDE alcanzó el nivel, en términos absolutos, de los países desarrollados (US EIA, 2010: 10), principalmente debido al rápido proceso de desarrollo chino. Los acontecimientos en China van a ejercer una influencia más que notable en la definición del panorama energético global.

Como es sabido, en los países OCDE se usa más petróleo y gas natural, los combustibles fósiles más tardíos en utilizarse, menos contaminantes y más caros; mientras que en los países en desarrollo se utiliza más el carbón, con menos coste económico pero también más contaminante. La mayor parte de las centrales nucleares se hallan en los países de la OCDE, por lo el consumo de energía nuclear es mucho mayor en estos países. Finalmente, en lo que se refiere a las energías renovables, en los países no OCDE la biomasa y los residuos aportan un 15% del *mix* frente al 4% en los países desarrollados, mientras que la aportación de la hidráulica (2%-3%) y las renovables no tradicionales (1%) es similar en ambos grupos de países.

Ahora bien, independientemente de estas diferencias, algunas de ellas significativas, el hecho es que tanto los países desarrollados como los que están en desarrollo dependen en un 80% de los combustibles fósiles. En el extremo opuesto, las energías renovables con tecnología más de vanguardia (solar y eólica, principalmente) apenas llegan al 1% del suministro energético mundial.

2. Factores limitantes para el futuro de los combustibles fósiles

Existe una corriente de opinión que propugna la sustitución de los combustibles fósiles por fuentes de energía renovables. Entre los principales argumentos para defender esta opinión se encuentran los siguientes:

- La problemática ambiental en general y el cambio climático en particular.
- La inestabilidad geopolítica de las principales regiones productoras de hidrocarburos.
- El posible agotamiento de los combustibles fósiles.

Sin duda, el proceso de extracción y utilización de los combustibles fósiles es más contaminante que el de las energías renovables, siendo especialmente relevantes las elevadas emisiones de CO₂ producidas en la combustión del carbón, la gravedad de los accidentes en las infraestructuras o instalaciones de gas natural, así como los impactos de los vertidos de crudo.

La inestabilidad geopolítica de los principales productores de crudo y gas natural, añadiendo, además, las nuevas incertidumbres derivadas de la “primavera árabe”, son incentivos para migrar hacia fuentes de energía menos expuestas en general al riesgo geopolítico¹.

En cuanto al agotamiento de los combustibles fósiles, es necesario hacer un análisis por separado de cada uno de los combustibles. El más sencillo de analizar es el carbón: a pesar de los más de dos siglos desde que comenzó su utilización en el siglo XVIII, el carbón sigue siendo abundante y sus yacimientos no están concentrados geográficamente, por lo que no existe, ni se vislumbra a corto o medio plazo, problemas de suministro. De hecho, si se mantuviesen los actuales niveles de explotación, habría carbón para más de un siglo² (BP, 2011: 30).

El gas natural, aunque ha sido el combustible fósil que se ha comenzado a utilizar más recientemente (su consumo se generaliza en EE.UU. solo a partir de los años 50 y en

¹ Aunque puede considerarse que la producción doméstica de energía renovable carece de riesgo geopolítico, éste puede estar presente en las cadenas de producción de los equipos o componentes o, más claramente aún, cuando la energía renovable sea importada como prevé el Plan Solar Mediterráneo o la Iniciativa Industrial Desertec. Un análisis pormenorizado de esta cuestión ver en Marín, García-Verdugo y Escrivano (2012). Por otra parte, para entender el concepto de riesgo energético y su “antónimo”, seguridad energética, puede acudir a García-Verdugo y San Martín (2012), mientras que su papel en la política energética comunitaria se explica en Marín, Velasco y Muñoz (2012).

² Este valor se conoce como ratio “reservas/producción”, que divide las reservas probadas en un año determinado entre la producción-extracción de ese mismo año.

Europa a partir de los 70), el nivel tecnológico ya alcanzado durante el siglo XX ha propiciado una evolución exponencial de su utilización, con lo que su ratio reservas/producción es de unos 60 años, pudiendo considerarse, por tanto, más escaso que el carbón. Además, al contrario que éste, sí que se haya concentrado geográficamente en Oriente Medio y la antigua Unión Soviética, que poseen conjuntamente cerca del 75% de las reservas probadas mundiales.

Por último, el petróleo viene utilizándose en la era moderna de forma significativa aproximadamente desde 1850, aunque no fue hasta la llegada del motor de combustión interna en las últimas décadas del siglo XIX cuando comenzó a despegar su consumo. La intensa explotación a la que ha sido sometido este recurso ha reducido su ratio reservas/producción hasta alrededor de 45 años, lo que le convierte en el combustible fósil más escaso, concentrándose más de la mitad de las reservas probadas en Oriente Medio y cerca de un 20% adicional en la antigua Unión Soviética (BP, 2011: 30).

En consecuencia, en caso de producirse problemas en el suministro de combustibles fósiles, lo más normal es que se limitasen al crudo y el gas natural, los más escasos.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que el mecanismo de precios que funciona en las economías de mercado limita la posibilidad de agotamiento de un determinado combustible, así como su impacto, al menos por tres vías: el primer lugar, la escasez de un determinado bien eleva su precio, y esta elevación, a su vez, disminuye el consumo, reequilibrando oferta y demanda; en segundo lugar, un precio elevado de los hidrocarburos permite la explotación de petróleo y gas natural no convencional, que siempre es más caro que lo extraído mediante técnicas tradicionales; finalmente, los precios elevados de los hidrocarburos incentivan la I+D en fuentes de energía alternativas, y la sustitución de los combustibles fósiles tradicionales por estas nuevas fuentes de energía disminuiría la presión sobre la oferta y los precios del crudo y el gas.

3. Factores de persistencia en el uso de los combustibles fósiles

Seguramente, la cuestión más importante es la magnitud en la que se utilizan los combustibles fósiles, que aportan, como queda dicho, alrededor de un 80% de las necesidades energéticas totales tanto en los países desarrollados como en los países en desarrollo. Pasar a un sistema donde los combustibles fósiles no fuesen mayoritarios no es una cuestión de años, ni lustros, sino de bastantes décadas. Como ilustración baste lo ocurrido tras las crisis del petróleo: en los 35 años transcurridos desde la primera crisis del petróleo (1973) hasta 2008, la contribución del petróleo al *mix* energético pasó del 46% al 33% en el conjunto del mundo y del 52% al 37% en los países de la OCDE (AIE, 2010b: 6-7), es decir, una reducción de tan sólo 13 y 15 puntos porcentuales

respectivamente en 35 años a pesar del impacto de los choques petrolíferos de 1973 y 1979.

Uno de los motivos que impiden cambios bruscos o rápidos en la composición del *mix* energético son las cuantiosas inversiones necesarias para poner en marcha las infraestructuras energéticas, lo que implica largos períodos de amortización, en muchas ocasiones, de hasta 50 años. Por tanto, si una determinada instalación deja de usarse antes de que concluya dicho período, como ocurriría si cambiase el *mix* energético de forma radical, la empresa propietaria, y el país, incurrirían en pérdidas. Cabe recordar que cerca del 50% de la capacidad eléctrica instalada en el mundo tiene menos de 20 años de vida (AIE, 2010a: 227), por lo que, suponiendo un período de amortización de unos 50 años, estas instalaciones todavía tienen más de 30 años de vida útil. Por tanto, podríamos decir que los sistemas energéticos tienen una inercia propia que hace que los cambios en el *mix* de fuentes energéticas se produzcan de forma relativamente lenta.

Además, las fuentes de energía renovables modernas (eólica, solar, geotérmica, maremotriz, etc.), que serían las que deberían suplir a los combustibles fósiles, ante la desconfianza que provoca la energía nuclear en muchos países, apenas alcanzaban en 2008 un 1% del consumo mundial de energía (AIE, 2010a: 618). Como se puede ver, la tarea para que las energías renovables reemplacen a los combustibles fósiles durante el siglo XXI se presenta titánica, más aún considerando la crisis económica internacional.

Por otra parte, teniendo en cuenta la creciente demanda de energía, especialmente por parte de China y los países en desarrollo, no parece recomendable prescindir de ninguna fuente de energía y mucho menos de aquellas que cubren la gran mayoría de las necesidades energéticas mundiales. El parón nuclear que más que probablemente se producirá tras los acontecimientos acaecidos en Japón tras el tsunami de marzo de 2011, y su contagio internacional, no hace sino reforzar la necesidad de los combustibles fósiles, puesto que la única alternativa posible, descartando momentáneamente la energía nuclear, serían las energías renovables “modernas”, y su actual nivel de desarrollo impide que estas sean el sostén del sistema energético mundial.

En primer lugar, por que satisfacen, por ahora, una parte mínima de las necesidades mundiales de energía (un 1%); también, por que no pueden suministrar energía de base como la nuclear o los combustibles fósiles debido a su propia naturaleza variable; y, finalmente, por que mientras que no se avance en su curva de aprendizaje son fuentes de energía más caras debido a su incipiente nivel de desarrollo en comparación con los combustibles fósiles. Esta última cuestión es especialmente relevante para los países en desarrollo que actualmente son responsables de la mayor parte del incremento del consumo mundial energía.

Para hacerse una idea de la dificultad de cambiar de forma significativa el *mix* energético futuro se puede recurrir a los escenarios de la Agencia Internacional de la Energía presentados en el *World Energy Outlook 2010* y que se muestran en la tabla 2.

Tabla 2: Escenarios de la AIE de la demanda mundial de energía por fuentes de energía en 2035

	“Políticas Actuales” (2035)			“450 ppm CO ₂ ” (2035)		
	Mundo	OCDE	No OCDE	Mundo	OCDE	No OCDE
Carbón	29%	18%	36%	17%	10%	22%
Petróleo	28%	30%	24%	26%	25%	23%
Gas natural	22%	26%	22%	20%	21%	20%
Nuclear	6%	12%	3%	11%	19%	8%
Renovables	15%	14%	15%	26%	25%	27%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%
C. Fósiles	79%	74%	82%	63%	56%	65%

Fuente: AIE (2010a) y elaboración propia.

En esta tabla se muestra el *mix* para la demanda (o consumo) mundial de energía en 2035 según los escenarios de “Políticas Actuales” y de “450 ppm³ CO₂” de la Agencia Internacional de la Energía⁴.

El primer escenario supone prorrogar en el tiempo las políticas energéticas de hoy, con lo que se mantendría el *status quo* energético mundial, incluyendo la contribución mundial de los combustibles fósiles de alrededor del 80%, a pesar de los cambios en la composición del *mix* entre fuentes energéticas y regiones que pueden apreciarse al comparar de las tablas 1 y 2.

En el segundo escenario, el de “450 ppm CO₂” las emisiones de CO₂ se mantendrían en unos niveles que mantuviesen el incremento de temperatura futuro en unos niveles “aceptables”⁵, es decir, por debajo de los 2°C. Incrementos de temperatura por encima de estos 2°C, son considerados como peligrosos. En este escenario la contribución de las combustibles fósiles todavía alcanza más del 60%.

Teniendo en cuenta la situación económica general, el desarrollo de las últimas reuniones sobre el cambio climático (Copenhague, principalmente), la postura contraria de los países en desarrollo a aceptar reducciones cuantificables de emisiones de gases de

³ ppm: partes por millón de CO₂.

⁴ Un análisis de los principales escenarios políticos y energéticos mundiales puede verse en García-Verdugo (2012) y San Martín (2012).

⁵ No obstante, cada vez son más las opiniones que cuestionan que la estabilización del CO₂ en 450 ppm sea segura, abogando en cambio, por un límite máximo de 350 ppm. Entre las voces “autorizadas” que defienden esta postura se encuentran Rajendra Pachauri, presidente del IPCC (Panel Intergubernamental del Cambio Climático), Nicholas Stern, autor del *Informe Stern sobre la economía del cambio climático* o James Hansen, director del Institute Goddard para Estudios Espaciales de la NASA (Ackerman *et al.*, 2009: 2).

efecto invernadero (sobre todo por parte de China, el mayor emisor mundial), la renuncia por parte de Francia⁶ a gravar el CO₂ o la imposibilidad por parte de la administración Obama de limitar las emisiones de CO₂ o de inspeccionar las instalaciones emisoras de CO₂ debido a los recortes presupuestarios⁷, es muy improbable, que se pueda alcanzar dicho escenario de 450 ppm. Ante esta coyuntura, podría ser incluso complicado alcanzar el escenario intermedio de la AIE, llamado “Nuevas Políticas”, donde en 2035 los combustibles fósiles todavía suministrarían un 73% de la demanda mundial de energía.

4. Evolución de los combustibles fósiles: recursos no convencionales

El I+D+i en fósiles se ha concentrado en dos grandes líneas de investigación que responden a dos de los principales factores limitantes que se han comentado anteriormente: la contaminación y el agotamiento de los hidrocarburos.

Respecto al primero, el objetivo es disminuir las emisiones contaminantes, ya sea reduciendo las emisiones por unidad de combustible consumido o incrementando la eficiencia energética de los combustibles, con lo que a menor consumo, menores emisiones. En lo que se refiere al agotamiento de los hidrocarburos (el carbón no está en riesgo de agotamiento), el principal campo de investigación es el desarrollo de los recursos no convencionales.

Aún no existe una definición precisa de lo que se considera como petróleo no convencional. De forma muy general, se podría considerar como convencional todo aquel petróleo que sube por gravedad o por presión de un pozo, con lo que la recuperación terciaria⁸ produciría crudo no convencional, tal y como se venía considerando tradicionalmente. No obstante, la AIE ha dejado de considerar a este tipo de crudo como un recurso no convencional en su último *World Energy Outlook*, por lo que no se tendrá aquí en consideración.

Una característica del petróleo no convencional es que es mucho más caro de obtener. No obstante, la escalada de los precios del crudo que ha estado produciéndose desde el comienzo del siglo XXI ha eliminado (parcialmente) este problema, puesto que se

⁶ “Francia entierra la tasa sobre el carbono. No habrá impuesto hasta que se aplique en el conjunto de la UE”, *Diario El País*, 23/03/2010.

⁷ “La política medioambiental es la gran víctima del recorte de Obama. La agencia de EE UU que debe inspeccionar las emisiones pierde 1.600 millones”, *Diario El País*, 18/04/2011.

⁸ La fase de recuperación primaria sería aquella en la que el crudo surge debido a causas naturales que operan en el yacimiento una vez que éste se perfora. La recuperación secundaria es la que se consigue mediante el incremento de presión en el yacimiento usando, generalmente, agua o gas del propio pozo, aire o incluso CO₂. La recuperación terciaria (EOR: *Enhanced Oil Recovery*), logra incrementar la extracción de crudo del yacimiento por diferentes medios más sofisticados: calentamiento del crudo, inyección de detergentes, etc.

espera que los precios del crudo estén, de forma sistemática, muy por encima, por ejemplo, de los 80\$ por barril que puede costar como máximo la extracción de las arenas bituminosas canadienses (AIE, 2010: 150). De todos modos, la problemática financiera sigue existiendo debido a los altos costes iniciales de inversión, sobre todo teniendo en cuenta la coyuntura económica actual.

Las principales fuentes de petróleo no convencional son las arenas bituminosas (*tar sands*) canadienses y los crudos extrapesados venezolanos del cinturón del Orinoco, que en la actualidad suponen tres cuartas partes de la producción de crudo no convencional (más del 50% las *tar sands*, y cerca del 20% el crudo extrapesado). También se considera como petróleo no convencional los esquistos bituminosos (*oil shales*) y la conversión de carbón y gas en diferentes productos petrolíferos (*CTL: coal-to-liquids* y *GTL: gas-to-liquids*).

Uno de los problemas del petróleo no convencional son las externalidades ambientales. Por una parte, en su proceso se emiten mayores cantidades de CO₂. No obstante, dado que la mayor parte de las emisiones se realizan en la combustión y no en la extracción, la diferencia global de emisiones es muy inferior a la existente en la fase de extracción, estando entre un 5% y un 15% por encima (AIE, 2010: 143). Por otra, estos recursos son mucho más intensivos que el petróleo convencional en el uso de agua y tierra, lo que puede aumentar sus costes o limitar su explotación, al colisionar directamente con las cada vez mayores exigencias medioambientales.

Aun así, se espera una contribución del crudo no convencional de hasta un 10% de la demanda total (AIE, 2010: 122), insuficiente para paliar el declive de los yacimientos en explotación, pero fundamental para satisfacer esa demanda junto con los nuevos yacimientos descubiertos y todavía no desarrollados y los que quedan por descubrir en el período 2010-2035, aunque la incertidumbre sobre estos últimos sea elevada.

Para finalizar con las perspectivas tecnológicas del crudo es necesario mencionar también, aunque sea muy brevemente, la evolución de los medios alternativos de transporte basados en renovables. Las principales líneas de investigación son los biocombustibles, sobre todo los de segunda generación, y el coche eléctrico. Los cultivos para los primeros compiten por el suelo agrícola, aunque tienen la ventaja de no necesitar un cambio radical de los sistemas de transporte por carretera, ya que, con relativamente pequeñas modificaciones, se podrían seguir utilizando las infraestructuras (oleoductos, buques, refinerías, gasolineras) y vehículos existentes, con el ingente ahorro de costes que eso supone. El coche eléctrico necesitaría nueva capacidad de generación y mayores inversiones en infraestructuras de distribución y vehículos.

En la actualidad los biocombustibles llevan ventaja en esta carrera, con su implantación masiva en países emergentes como Brasil y el establecimiento de mínimos obligatorios

en la UE hasta alcanzar un 10% del consumo final de energía en el transporte para el año 2020. No obstante, a pesar de la importancia de la iniciativa para desarrollar estos combustibles, este 10% del consumo europeo en transporte tan sólo representa un 0,3% del consumo final de energía mundial. Teniendo en cuenta que Europa es una de las regiones más ricas y más avanzadas del mundo en materia medioambiental, la posibilidad de que otras naciones adopten iniciativas como esta es prácticamente nula. Por su parte, el consumo de los vehículos eléctricos en Europa representa la mitad del de los biocombustibles, por lo que su aportación futura al *mix* será todavía inferior a la de éstos.

Si hay un combustible fósil que esté en disposición de soportar las nuevas exigencias medioambientales requeridas al sector energético ese es, sin duda, el gas natural. La principal ventaja del gas frente al petróleo y el carbón es su menor nivel de emisiones contaminantes en general y de CO₂ en particular, ya que durante su combustión emite un 40%-45% menos que el carbón y un 20%-30% menos que el petróleo. Estos bajos niveles de contaminación es lo que ha permitido, además de su uso en generación de electricidad e industria, los usos domésticos.

Se están produciendo una serie de cambios fundamentales en el sector del gas natural que hacen que incluso se especule acerca del advenimiento de la “edad dorada del gas” (AIE, 2010 y 2011). Las principales características de este nuevo ciclo energético, que podría llegar a sustituir al del petróleo en que todavía nos encontramos, son tres: el despegue del gas no convencional, el aumento de la cuota del gas natural licuado (GNL) en el comercio mundial y la tendencia creciente a desacoplar los precios del gas natural y el petróleo.

A las reservas convencionales de gas que ya hemos comentado, con una duración aproximada de 60 años, habría que añadirles las no convencionales, de las que podría recuperarse hasta el doble de las convencionales, con lo que habría gas para, aproximadamente, más de dos siglos a los niveles de producción actuales (AIE, 2011: 49). Los tres principales tipos de gas no convencional son, por orden de importancia, el *shale gas* procedente de esquistos al igual que el *shale oil*, el *tight gas* procedente de formaciones compactas de rocas duras o areniscas inusualmente impermeables y no porosas y, finalmente, el *coal bed methane*, es decir, el metano de las capas de carbón.

Lo más notable de estas fuentes de gas no convencional es que, al contrario de lo que sucede en el petróleo, su coste de extracción se sitúa, aproximadamente, en el mismo intervalo que el del gas convencional: 3-8\$ por millón de Btu⁹ vs. 2-9\$ por millón de Btu en el caso del gas convencional (AIE, 2011: 49). Además, su viabilidad está fuera

⁹ Btu: *British thermal units*. Unidad de medida de energía utilizada normalmente para calcular los precios del gas natural.

de toda duda puesto que en 2009 el 50% de la producción de gas de EE.UU. fue de recursos no convencionales (US EIA, 2011: 79), permitiendo a EE.UU. reducir desde el año 2005 sus importaciones netas de gas natural.

La conjunción del incremento de la producción de gas no convencional de EE.UU., que ha “liberado” GNL al mercado, junto con el propio crecimiento de la importancia del GNL (que podría subir su cuota en el comercio mundial desde el 31% en 2008 hasta el 42% en 2035), y la caída del consumo debido a la crisis económica mundial, ha provocado un exceso de oferta, con la consecuente presión a la baja sobre los precios. El diferencial de precios existente entre un mercado *spot* cada vez más importante, abastecido por GNL, y los contratos a largo plazo de petróleo convencional suministrado por gasoducto, están forzando, aunque sea muy lentamente, al desacoplamiento de los precios del gas de los del petróleo en Europa y Asia, lo que por cierto, no es una cuestión menor, sino positiva, para los países consumidores occidentales

De cara al futuro, con la expansión de las reservas y la producción del gas natural debido, principalmente, al gas no convencional, junto con un mercado *spot* más amplio, facilitado por el crecimiento en el comercio del GNL, liberalizado y no indexado al petróleo, las perspectivas del gas natural son inmejorables, pudiéndose convertir durante el siglo XXI en la energía de referencia del sistema energético mundial, disminuyendo paralelamente el protagonismo del petróleo convencional.

Quedan por analizar las perspectivas futuras del carbón. En la actualidad los países en desarrollo consumen dos terceras partes de la producción mundial de carbón. Más importante aún que este hecho es que en el escenario BAU (*business as usual*) de la Agencia Internacional de la Energía (*Current policies*) el consumo mundial de carbón crecería hasta el 2035 un 60% y la práctica totalidad del incremento del consumo se produciría en los países en desarrollo, principalmente en China, India e Indonesia (AIE, 2010: 20).

Aunque el carbón sea el combustible fósil más contaminante y que más CO₂ emite en su combustión, su más amplia distribución así como su menor precio, hacen que sea el combustible preferido por los países en desarrollo. Estos países con sus escasos recursos, su conciencia ambiental, lógicamente menos acusada que en los países desarrollados, así como la percepción de que el cambio climático es un problema generado por los países desarrollados, solo renunciarán al uso del carbón si son incentivados económicamente por los países desarrollados. No obstante, la coyuntura económica actual impide o dificulta de forma importante este tipo de incentivos económicos por lo que la renuncia de estos países a utilizar cada vez más carbón se antoja improbable.

La única posibilidad para que los países desarrollados incrementen su uso del carbón es que se implemente a gran escala la captura y almacenamiento de carbón (*CCS carbon capture and storage*). Esta tecnología sería clave, a su vez, para alcanzar la estabilización del CO₂ en 450 ppm. No obstante, actualmente no está desarrollada en fase comercial y sería necesaria una inversión adicional muy significativa para lograrlo. Esta tecnología está incluida en el SET plan de la UE, pero no se espera que sea viable comercialmente hasta el 2020. Aunque es cierto que, ante el fuerte crecimiento de la demanda mundial de energía, no conviene abandonar ninguna alternativa tecnológica, la existencia de energías renovables más cercanas al umbral de rentabilidad puede dificultar el desarrollo de la captura y almacenamiento de carbón u otras tecnologías de carbón limpias (*clean coal technologies*).

5. Comentarios finales: de lo visible a lo aún invisible

Teniendo en cuenta tanto los factores limitantes como los de persistencia de los combustibles fósiles, así como las perspectivas futuras específicas del petróleo, el gas natural y el carbón, parece claro que durante gran parte del siglo XXI se va a mantener el predominio de los combustibles fósiles en el sistema energético mundial.

La utilización actual de los combustibles fósiles es demasiado intensa (un 80%) como para que se produzca un cambio sustantivo en poco tiempo en la estructura del suministro energético mundial. El recurso de los países en desarrollo y emergentes al carbón y la falta de consenso sobre la lucha contra el cambio climático limitan sobremanera una reducción efectiva y rápida de su consumo.

El desarrollo del petróleo no convencional, debido a los altos niveles de precios existentes en los mercados energéticos internacionales, y, sobre todo, del gas no convencional a unos precios competitivos, junto con la abundancia de carbón, parecen descartar con casi total seguridad una crisis de abastecimiento energético, al menos, durante la primera mitad del siglo XXI.

No obstante, el requisito para que no se produzca esta crisis de abastecimiento es que se realicen las inversiones suficientes en infraestructuras de generación, transporte y distribución para abastecer la creciente demanda energética, especialmente, de los países en desarrollo. La AIE estima que, en un escenario de emisiones de CO₂ intermedio entre el BAU y el de 450 ppm (el de *New policies*), dicha inversión debería ascender a 33 billones¹⁰ de dólares de 2009 (AIE, 2010: 94) en el período 2010-2035 solamente por parte de la oferta energética, es decir, sin incluir las inversiones que deberían realizar los consumidores. Esta cantidad es superior al PIB de un año de la UE

¹⁰ Billones españoles, es decir, millones de millones (10¹²).

y EE.UU. conjuntamente, y representa una inversión anual durante 25 años de un 1,4% del PIB mundial.

Con la situación económica mundial, que se prolonga desde agosto de 2007, actual este es el gran problema al que se enfrenta el sector energético en el corto y medio plazo, mucho más grave que un improbable agotamiento de los combustibles fósiles teniendo en cuenta los desarrollos tecnológicos existentes y los niveles de precios del crudo.

Por otra parte, teniendo en cuenta la evolución de la crisis económica hacia una crisis fiscal y de deuda soberana, la capacidad financiera de los gobiernos se haya muy reducida, por lo que la mayor parte de la inversión deberá provenir del sector privado, al menos en el corto plazo. En consecuencia, se priorizarán las inversiones más rentables frente a las más deseables socialmente, con lo que la mayor parte de los fondos disponibles podrían ir destinados al desarrollo de fuentes de energía que ya hayan alcanzado el umbral de la rentabilidad, como es el caso del petróleo y el gas no convencional, en detrimento de las energía renovables.

La decisión de Alemania en mayo de 2011, anunciando el cierre de sus centrales nucleares en 2022 (por cierto, pocos meses después de ampliar la vida útil de sus reactores) puede interpretarse como un fuerte apoyo a las energías renovables, donde la tecnología y empresas alemanas aspiran a una posición de liderazgo mundial y a ocupar por esta vía un importante nicho de mercado futuro. Pero esta decisión basada en Fukushima no está clara. Queda la duda de si la central japonesa ha sido el origen real en la toma de decisiones o la disculpa oportuna. Ahora bien, frenar la nuclear puede convertirse en un mayor margen de maniobra para los combustibles tradicionales, que permanecen como la única energía de base disponible. A largo plazo, sin embargo, desaparecería la única competencia que tienen las energías renovables en la emisión de gases de efecto invernadero.

En conclusión, los combustibles fósiles seguirán dominando el suministro energético durante el siglo XXI, aunque reduciendo su importancia respecto al siglo XX debido al desarrollo que se está produciendo en las fuentes de energías renovables. Este cambio debe ser saludado con esperanza y con naturalidad positiva por parte de todos. Lo más importante es encontrar un *mix* energético que aumente la seguridad y que disminuya la vulnerabilidad hasta en tanto no se encuentre la “energía del futuro”.

Referencias

Ackerman, F., Stanton, E.A., DeCanio, S.J., Goodstein, E., Howarth, R.B., Norgaard, R.B., Norman, C.S., y Sheeran, K.A. (2009): *The Economics of 350: The Benefits and Costs of Climate Stabilization*, Economics for Equity and the Environment Network, www.e3network.org.

AIE – Agencia Internacional de la Energía (2010a): *World Energy Outlook 2010*, OCDE/IEA, París.

AIE – Agencia Internacional de la Energía (2010b): *Key World Energy Statistics 2010*, OCDE/IEA, París.

AIE – Agencia Internacional de la Energía (2011): *Are we entering a Golden Age of Gas?* Special Report, World Energy Outlook 2011, OCDE/IEA, París.

García-Verdugo, J. (2012): “Global policy scenarios and economic scenarios as tools for energy policy” en Marin J.M., García-Verdugo, J. y Escribano G.: *Energy Security for the EU in the 21st Century: Markets, Geopolitics and Corridors*, Routledge, Londres.

García-Verdugo, J. y San Martín, E. (2012): “Risk theory applied to energy security: a typology of energy risks” en Marin J.M., García-Verdugo, J. y Escribano G.: *Energy Security for the EU in the 21st Century: Markets, Geopolitics and Corridors*, Routledge, Londres.

Greenpeace España (2007): *100% Renovables. Un sistema eléctrico renovable para la España peninsular y su viabilidad económica*, <http://www.greenpeace.org/espana/es/reports/informes-renovables-100/>

Jacobson, M.Z. y Delucchi, M.A. (2009): “A Path to Sustainable Energy by 2030”, *Scientific American*, nº 301 (5).

Jacobson, M.Z. y Delucchi, M.A. (2010): "Providing all global energy with wind, water, and solar power, Part I: Technologies, energy resources, quantities and areas of infrastructure, and materials", *Energy Policy*, vol. 39, nº 3.

Marín J.M., García-Verdugo, J. y Escribano, G. (2012): *Energy Security for the EU in the 21st Century: Markets, Geopolitics and Corridors*, Routledge, Londres.

Marín J.M., Velasco, C. y Muñoz, B. (2012): “Energy security of supply and EU energy policy” en Marin J.M., García-Verdugo, J. y Escribano G.: *Energy Security for the EU in the 21st Century: Markets, Geopolitics and Corridors*, Routledge, Londres.

PriceWaterhouseCoopers (2010): *100% renewable electricity. A roadmap to 2050 for Europe and North Africa*,
http://www.pwc.co.uk/eng/publications/100_percent_renewable_electricity.html.

San Martín, E. (2012): “Long-term energy policy scenarios for the world and the EU: a comparative analysis” en Marin J.M., García-Verdugo, J. y Escribano G.: *Energy Security for the EU in the 21st Century: Markets, Geopolitics and Corridors*, Routledge, Londres.

US EIA – United States Energy Information Administration (2010): *International Energy Outlook*, <http://205.254.135.24/oiaf/ieo/>

US EIA – United States Energy Information Administration (2011): *Annual Energy Outlook 2011 with Projections to 2035*, www.eia.gov/forecasts/aeo/