

Energía y ecología: claves ambientales en el uso actual y futuro de la energía

Miguel Ángel Esteve Selma y Antonio Urbina Yeregui

DESCRIPTORES

ENERGÍA
ECOLOGÍA HUMANA
MEDIO AMBIENTE
COMBUSTIBLES FÓSILES
ENERGÍA RENOVABLE
DESARROLLO SOSTENIBLE
CAMBIO CLIMÁTICO

El gasto energético desde la ecología humana. La demanda mundial de energía

Una de las características ecológicas más definitorias de la especie humana frente a las restantes especies es el uso deliberado de grandes cantidades de energía exosomática, es decir, externa al metabolismo o desligada de la alimentación directa. La proporción entre la energía somática o metabólica y la energía exosomática es, en sociedades urbanas e industrializadas, de 1 a 100. Por cada 2.000 kilocalorías, una alimentación básica para una persona y día, gastamos en dichas sociedades 200.000 kilocalorías per cápita/día que no pasan por nuestro metabolismo biológico, y que consumimos en la industria, el comercio, las actividades domésticas, el transporte, en todo. Medido en kilovatios hora, una persona consume como energía somática unos 1.000 kwh al año. La media mundial se sitúa en torno a los 19.000 kwh/año, aunque en Norteamérica consumen unos 92.000 kwh/año, en Europa entre los 35.000 y los 50.000 kwh/año (España 36.000 y Alemania, por ejemplo, 49.000 kwh/año) y los países menos desarrollados pueden estar incluso por debajo del gasto somático, como ocurre en determinadas zonas subsaharianas (en torno a las 700 kwh/año), y en general, entre una y tres veces el consumo básico metabólico. Desde una perspectiva ecológica, en este enorme consumo energético reside nuestra capacidad para escapar de los sistemas naturales de regulación local, los límites locales del crecimiento, mediante un transporte muy activo de recursos, productos y personas. Esa superación energéticamente forzada de la capacidad de acogida de cada territorio nos enfrenta al siguiente gran reto: los límites globales o planetarios, entre los que emergen como principales componentes el cambio climático,

la regulación de los rayos UVB (disminución del ozono estratosférico) o la sexta gran extinción que erosiona masivamente nuestra biodiversidad.

Durante el siglo XX hemos multiplicado prácticamente por diez el consumo energético mundial, y este crecimiento mantiene un patrón exponencial de un 1,6% de incremento anual, por lo que hoy consumimos 70% más energía que hace treinta años. La Agencia Internacional de la Energía tiene previsto para el año 2030 una subida de otro 50% (AIE, 2005). Lógicamente, las fuentes energéticas han mostrado una evolución dispar durante este último siglo. En los últimos cien años hemos transitado desde un consumo energético basado en el carbón, la biomasa y otras energías tradicionales, a principios de siglo (el carbón constituía aproximadamente el 70% del consumo energético en los años veinte), hasta el dominio del petróleo desde los años setenta, con una aportación que llegó a sobrepasar el 40% del total consumido. En el inicio del siglo XXI (año 2001), el consumo mundial de energía primaria ha sido de más de 10.000 millones de toneladas equivalentes de petróleo, con el reparto siguiente: petróleo, 35%; carbón, 23,3%; gas natural, 21,2%; fuentes renovables no hidráulicas, 10,9%; nuclear, 6,9%; hidráulica, 2,2%; y otras, 0,5%, lo que supone una aportación de aproximadamente el 80% para los combustibles fósiles. El alto peso relativo de las energías renovables responde a una rigurosa contabilidad de los recursos energéticos utilizados en los países en vías de desarrollo, donde la biomasa (madera) puede suponer más del 50% de sus recursos energéticos diarios. Efectivamente, como se señaló en Johannesburgo, en la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible, 1.600 millones de personas no tienen acceso a la electricidad y 2.400 millones dependen de la leña para cocinar y ca-

lentarse. Otra cuestión distinta es si dicha biomasa debe considerarse renovable o no, debido a los procesos degradativos a los que da lugar su sobreexplotación. En cualquier caso, otras contabilidades menos sensibles a los recursos energéticos ajenos al mercado cifran en un 90 % la aportación del total de los combustibles fósiles al consumo energético mundial.

Los datos anteriores sugieren un reparto muy desigual del consumo energético global. Los países de la OCDE, con aproximadamente un 15 % de la población mundial, consumen el 50 % de la energía (AIE, 2005). Según el detallado trabajo de Rosen & Houser (2007) sobre China y su consumo energético, la demanda mundial de energía (ver figura 1) la sigue protagonizando Estados Unidos con unos 2.300 millones de toneladas métricas equivalentes de petróleo (mtep), y los países europeos de la OCDE, con unos 1.800 mtep., aunque la brecha entre ambos se va haciendo cada vez más grande. A un segundo nivel están India (unos 400 mtep), Japón (unos 500 mtep) y China, que es la que está creciendo más rápidamente, a tasas superiores al 7%, mucho más altas que las proyecciones de la Agencia Internacional de la Energía, con consumos que superaron los 1.500 mtep en 2005.

La insostenibilidad de este consumo se refleja más claramente en la demanda energética per cápita. La figura 2 muestra dicho consumo, en el que vuelven a destacar Estados Unidos, con 7,88 toneladas de petróleo equivalente (tep) per cápita, más del doble que el gasto de un ciudadano europeo perteneciente a los países más desarrollados (OCDE), que está en 3,46 tep. Rusia y Japón están entre los 4 y 5 tep. India en 0,36 tep y China, como principal país emergente, anda por los 1,19 tep, 6,6 veces menos que el consumo per cápita existente en Estados Unidos. Estas cifras encierran muchos de los principales retos e incertidumbres para las próximas décadas, algunos muy preocupantes: ¿Qué puede ocurrir si China pasa de unos pocos vehículos a motor por cien habitantes a los 88 de Estados Unidos, y todo ello en plena crisis terminal del petróleo barato? Otros, por el contrario, más esperanzadores: ¿Cuáles son las posibilidades reales del ahorro y la ecoeficiencia, cuando un europeo consume el 44 % de la energía que un estadounidense, ambos en un estado de desarrollo económico similar?

El ocaso de los combustibles fósiles: El fin del petróleo barato

Aunque parece que ha sido más recientemente cuando el debate sobre el posible fin del petróleo ha alcanzado un mayor volumen, lo cierto es que es un debate antiguo. Posiblemente, el primer estudio científico sobre la sostenibilidad de la explotación del petróleo es el artículo del profesor M. King Hubbert de 1956 en el que por primera vez se establece la hipótesis del agotamiento de la extracción de petróleo en las explotaciones de Estados Unidos. Este país, por entonces el mayor productor del mundo, vivía un período de expansión económica sin precedentes desde el final de la segunda guerra mundial; su producción propia de petróleo le garantizaba el consumo interno y aún quedaba producción para ser un exportador neto. Por ello, el artículo de Hubbert o pasó desapercibido o fue severamente descalificado.

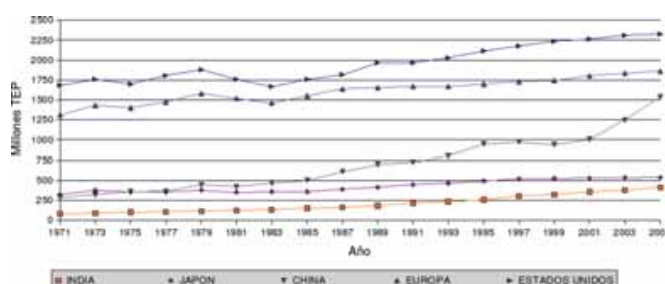


Fig. 1. Demanda energética en millones de toneladas equivalentes de petróleo. Europa: solo los países europeos de la OCDE. Tomado de Rosen & Houser (2007). Fuentes: BP Statistical Yearbook 2006, IEA 2002. Excluidos biomasa y residuos.

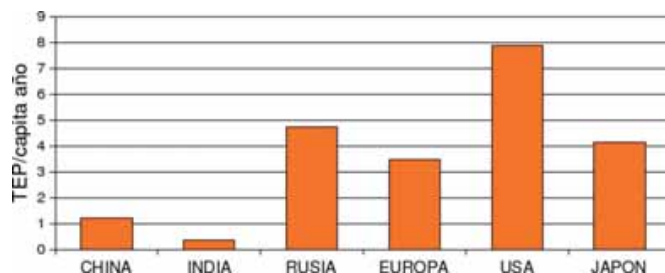


Fig. 2. Demanda energética anual per cápita en distintos países. Europa: solo referido a los países europeos de la OCDE. Tomado de Rosen & Houser (2007). Fuentes: BP Statistical Review and Economist Intelligence Unit (EIU).

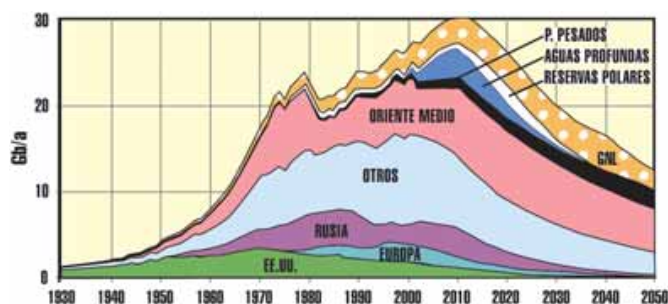


Fig. 3. Curva de Hubbert para la producción de petróleo (Gb/a: miles de millones de barriles por año) de varias macrorregiones. Se ha añadido la producción de gas natural licuado (GNL). Hasta 2003 son datos reales, después es una extrapolación sobre el modelo de Hubbert actualizado.

Hubbert predijo que la producción de petróleo norteamericano alcanzaría un máximo en un plazo relativamente breve, hacia 1970, y después empezaría a disminuir irreversiblemente, iniciándose una etapa de creciente dependencia energética del exterior. Su predicción se cumplió incluso antes de lo previsto, en 1972, como puede apreciarse en la figura 3, donde se presenta en verde la producción de Estados Unidos, con un pico claramente marcado en esa fecha: es el famoso "pico de Hubbert". Si este tipo de estudios se generalizan a la producción global de petróleo, se puede observar cómo las distintas macrorregiones geográficas van alcanzando y rebasando paulatinamente su respectivo pico de Hubbert. Sobre la misma figura, se suma a la curva de Estados Unidos la producción de Europa, con su pico ya rebasado hacia el año 2000, con el comienzo del descenso en la producción del petróleo del Mar del Norte, y la de Rusia, con un pico a finales de los ochenta, reflejo en este caso de su crisis interna y no de un agotamiento de los recursos, como demuestra la recuperación de la producción, cuyo pico se estima que llegará hacia 2010.



Otras regiones continúan todavía en la fase ascendente de su producción, como es el caso de Oriente Medio y la suma del conjunto de regiones etiquetadas como "Otros". Destaca en el caso de Oriente Medio el impacto de la decisión de la OPEP de recortar su producción en 1973 como protesta por el apoyo de occidente a Israel en la guerra arabe-israelí de ese año; este impacto se puede apreciar en la gráfica en la caída importante de producción, que no pudo ser compensada con el aumento de otras regiones y por tanto se trasladó a la suma total. Además, al coincidir esta bajada de la producción con la evidencia de que en Estados Unidos se había rebasado el pico de Hubbert, esta crisis energética tuvo un impacto no solo económico, sino en las mentalidades de los gobiernos y en las actitudes de la población occidental. Por primera vez se hacía evidente la vulnerabilidad de la economía ante los recursos energéticos, con una dependencia creciente de la producción de petróleo de Oriente Medio. Es en esa época cuando empiezan a surgir los conceptos de sostenibilidad y eficiencia energética, y se aumenta la inversión en el desarrollo de energías renovables.

Sin embargo, la rápida recuperación de la producción, con una curva fuertemente ascendente desde 1982 que se mantiene hasta la actualidad, hizo olvidar el debate de la sostenibilidad. Los argumentos relacionados con la evidencia del cambio climático y el límite ecológico a la producción energética son los que ahora han sustituido a aquellos más relacionados con el agotamiento de las reservas. Sin embargo, la predicción de que en un futuro se va a alcanzar un "pico de Hubbert" global, como ya sucedió en Estados Unidos hace más de treinta años, sigue ahí, y el debate se centra en si se alcanzará antes o después, con una diferencia temporal, entre los más optimistas y pesimistas, de unas pocas décadas. Entre los optimistas destaca el Departamento de Energía del Gobierno de Estados Unidos, que dibuja varios escenarios dependiendo del índice de aumento en la producción y establece unos límites que oscilan entre 2026 y 2047 para un aumento del 2%, o entre 2045 y 2112 para un aumento del 1%. Otros cálculos de importantes consultoras ("Douglas-Weswood", "Association for the Study of Peak Oil & Gas") vinculadas a multinacionales petroleras sitúan el pico de Hubbert en torno a 2010 o 2020.

La cuestión no es por tanto establecer una fecha para el agotamiento del petróleo, sino estimar cuándo se alcanzará el pico de Hubbert, lo que indicará un claro cambio de tendencia y marcará de forma irreversible el final de la época del petróleo barato, dejando sus precios muy por encima de los 50 dólares por barril, como ya estamos viviendo en los últimos años, con precios próximos a los 100 dólares.

Un resultado complementario que refuerza la idea de que se acaba el petróleo barato surge del análisis de la figura 4. Es una forma diferente de presentar la producción de petróleo, comparándola en este caso con el descubrimiento de reservas que se ha venido haciendo cada año. La producción tiene la misma forma que la suma de todas las macrorregiones presentadas en la figura 3, y se observa que a partir de 1985 está por encima de las barras verticales que indican el

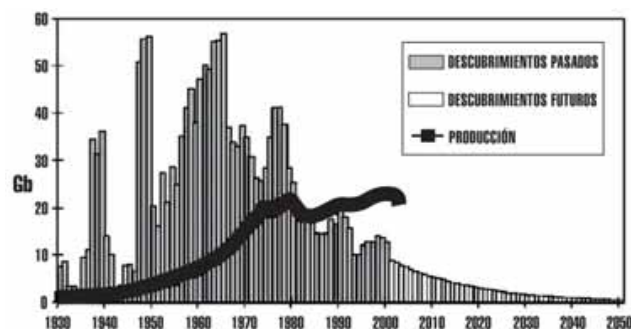


Fig. 4. Producción anual de petróleo comparada con el descubrimiento de nuevas reservas. Desde 1985 la producción es mayor, lo que supone que estamos reduciendo las reservas probadas.

descubrimiento realizado cada año, esta brecha ha aumentado de forma constante desde entonces. Es decir, que desde hace más de veinte años estamos consumiendo cada año más petróleo del que se descubre, y por primera vez en la historia están disminuyendo las reservas probadas. Podría objetarse en este análisis que el descubrimiento de nuevas reservas depende de un gran número de factores difíciles de analizar en conjunto. Esto se aprecia en la irregularidad de la forma que dibujan las barras verticales: profundas caídas coincidiendo con la Segunda Guerra Mundial, con un repunte fuerte al final de la misma y una subida constante hasta mediados de los años sesenta, para caer de nuevo desde entonces, cuando los bajos precios del petróleo no hacían rentable la exploración intensiva que requiere un nuevo descubrimiento.

Solamente tras la crisis de 1973 se incrementan de nuevo los descubrimientos, como resultado de los altos precios que alcanza de nuevo el barril. A partir de 1982, la tendencia es una caída sostenida con pequeños repuntes. Quizá sea esperable una nueva subida en los descubrimientos si los actuales altos precios del barril vuelven a hacer rentables los esfuerzos requeridos. Sin embargo, los nuevos yacimientos son en general de petróleos pesados o en zonas de difícil extracción (fondos marinos profundos, zonas polares), lo que refuerza la idea de que no es esperable una nueva caída de precios. Es posible que el petróleo dure todavía muchos años, pero su precio será cada vez más alto y con un coste ecológico y social cada vez mayor.

Un comentario adicional: aunque en este punto nos hemos centrado especialmente en el petróleo como recurso energético no renovable, las conclusiones son extrapolables a cualquier otro recurso. Mencionaremos el caso del uranio, ya que siempre se ha planteado la "alternativa nuclear" como una fuente ilimitada de energía. Es necesario recordar que el uranio es un recurso no renovable, con una duración estimada por British Petroleum de 67 años al ritmo de consumo actual, habiendo alcanzado ya su pico de Hubbert, y sin grandes expectativas de descubrir nuevos yacimientos. Es probablemente el carbón el recurso para el que se estima una mayor duración, estimada en más de dos siglos incluso con un crecimiento de su consumo. Sin embargo, su impacto ecológico es enorme y aunque se están invirtiendo una gran cantidad de recursos en investigar formas de explotación del carbón menos contaminantes, es muy dudoso que pueda llegar a ser una fuente energética sostenible.

TABLA 1

Breve resumen de la correlación entre reservas de petróleo y compra de armamentos y/o conflictos bélicos

Productor	Reservas probadas (miles de millones de barriles) – porcentaje sobre el total mundial [1]	Compra de armamento 1995-2002 (millones de dólares – suministradores principales) [2]	Conflictos recientes
1. Arabia Saudí	261.8 - 25%	64600 Estados Unidos, Europa	Mayor comprador de armamento del mundo. Bases norteamericanas, problemas de terrorismo interno. Es una dictadura hereditaria. Guerras árabe-israelíes.
2. Irak	112.5 - 10.7%	100 Europa (con un embargo ONU)	Dictadura. Guerra Irán-Irak, invasión de Kuwait, guerra de 1991, guerra de 2003 y ocupación actual.
3. Emiratos Arabes Unidos	97.8 - 9.3%	8700 Europa, Estados Unidos, Rusia	Dictadura.
4. Kuwait	96.5 - 9.2%	7300 Estados Unidos, Europa, Rusia, China	Dictadura. Es invadido por Irak en 1991. Bases norteamericanas.
5. Irán	89.7 - 8.6%	2800 Rusia, China, Europa	Dictadura. Guerra Irán-Irak. Conflictos diplomáticos con occidente.
6. Venezuela	77.8 - 7.4%	2000 Estados Unidos aumentando a partir de 2005 (ahora Europa, Rusia)	Corrupción generalizada, sobre todo con el gobierno de CAP. Tras la victoria electoral de Hugo Chávez, intento de golpe de estado. Tensión con Colombia.
7. Rusia	77.1 - 7.4%	Segundo mayor export. Mundial 1996-2000: 15690 [3]	Guerra en Chechenia. Inestabilidad en todo el Cáucaso. Desastres ecológicos en Siberia. Mafias, evasión de capitales.
8. Estados Unidos	30.4 - 2.9%	Mayor export. Mundial en 1996-2000: 49271 [3]	Promoción golpes de estado en América Latina y África. Plan Colombia. Implicación en varias guerras de Oriente Medio. Invasión de Irak y Afganistán, etc.
9. Libia	29.5 - 2.6%	400 Rusia, Europa	Dictadura. Guerra árabe-israelí. Sufrió varios ataques de la aviación norteamericana e israelí.
10. Nigeria	24.0 - 2.3%	300 Estados Unidos	Dictadura. Golpes de estado. Destrucción del Delta del Níger. Asesinato de líderes campesinos y defensores de DDHH (como Ken Saro Wiva).

Datos de [1]: British Petroleum, 2003; [2]: Grimmet, 2003; [3]: Hinde & Rotblat, 2003.

Costes ambientales y sociales del ciclo de vida de los combustibles fósiles: extracción y transporte

Aunque las emisiones de gases de efecto invernadero se consideran hoy día el mayor límite ecológico para el uso de los combustibles fósiles, queremos destacar el alto coste social y ambiental que tiene la parte inicial del ciclo de utilización de dichos combustibles, especialmente la extracción y el transporte. En general, estos costes no están reflejados en el precio final del producto, ya que casi nunca son las compañías encargadas de su explotación las que deben hacer frente al impacto causado. Por tanto son costes externalizados, que si se incluyeran súbitamente en el precio final de la energía llevarían los precios a valores mucho más altos de los actuales y generarían una crisis económica importante. Sin embargo no se puede renunciar a incluir paulatinamente estos costes, y las redes y mecanismos bilaterales y multilaterales que deben crearse para ello están todavía muy poco desarrollados, limitándose en el mejor de los casos a sentencias condenatorias tras largos y costosos juicios que en muy pocas ocasiones han llevado a indemnizaciones económicas que cubran ni siquiera un pequeño porcentaje de los daños provocados.

En un artículo breve es difícil hacer un repaso exhaustivo de los altos impactos sociales y ambientales, aunque sí podemos agrupar de forma general las distintas categorías de daño, directo o indirecto, claramente asociado a la extracción y transporte de los recursos fósiles.

Por un lado, la asociación directa con conflictos bélicos: Oriente Medio, la zona que contiene las mayores reservas probadas del mundo, con más de un 70% del total, y además de la mejor calidad, no ha conocido la paz a lo largo del último siglo. Las guerras árabe-israelíes, la invasión soviética de Afganistán, la guerra Irán-Irak, y la más reciente invasión de Irak

y Afganistán tienen como trasfondo el control de los recursos energéticos (Leech, 2006). Basta una mirada a la correlación entre reservas-compra de armamento-conflictos en las zonas productoras (Tabla 1) para que surja claramente ese vínculo (nos limitamos solo al caso de los diez mayores productores).

Por otro lado, los niveles de destrucción ecológica alcanzados en algunas zonas de producción son alarmantes, con el coste humano añadido de una violencia de baja intensidad cuyo objetivo es inicialmente desplazar a la población que habita las zonas donde se encuentran las reservas y posteriormente eliminar cualquier conato de organización para denunciar tanto el delito ecológico como las violaciones de derechos humanos que se hayan producido (Tablada, 2004). Los vertidos durante las guerras de Irán-Irak (1980-1988), Primera (1991) y Segunda Guerra del Golfo (2003) han sido desastres ecológicos de primera magnitud. Además habría que destacar la destrucción del Delta del Níger, el enclave de Cabinda en Angola, o los daños en la selva amazónica y la selva atlántica en las zonas productoras de Colombia y Ecuador (Shelley, 2005). También durante el transporte se produce un alto riesgo de desastre ecológico, ya sea en oleoductos –numerosas roturas en Siberia, Alaska, Ecuador, o sabotajes en el Chocó y Arauca, Colombia–, o en grandes petroleros –hundimientos del Exxon-Valdez en Alaska (1989, 37.000 toneladas de hidrocarburos vertidas), del Erika en Bretaña (1999, 35.000 toneladas) y del Prestige en las costas gallegas (2002, 77.000 toneladas, como casos más representativos–. Las consecuencias ecológicas de estos desastres durarán todavía mucho tiempo. Este tema es además mucho más grave, pues los vertidos accidentales que generan mareas negras suponen menos del 10% de los vertidos totales de petróleo al mar, siendo mayoritarios los que se producen durante las operaciones cotidianas de mantenimiento y transporte y por escorrentía superficial.



Ninguno de estos "efectos" de la producción está incluido en el precio que tiene la energía. En pocos bienes de consumo hay una brecha tan grande entre precio y coste real de producción. Una vez más es evidente que la tendencia debería ser claramente hacia un crecimiento sostenido de los precios de la energía.

Costes ambientales y sociales del consumo final de los combustibles fósiles: el cambio climático

Cada día resulta más evidente, en términos de certeza científica y de percepción ciudadana, que las emisiones de gases de efecto invernadero se están mostrando como el mayor límite ecológico del uso de los combustibles fósiles. Los sucesivos informes del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático han sido claves en este avance. La mayor parte de los datos vertidos a continuación proceden del Cuarto Informe de Evaluación, publicado este mismo año 2007 por los tres grupos de trabajo de dicho panel intergubernamental de expertos (GIECC, 2007).

Las concentraciones globales de gases de efecto invernadero (GEI: dióxido de carbono, metano y óxidos de nitrógeno, principalmente) se han incrementado enormemente desde el inicio de la era industrial, a mediados del siglo XVIII. El dióxido de carbono, causante del 55% aproximadamente del efecto invernadero adicional o forzamiento radiativo, ha subido unas 100 ppm en este período, superando las 379 ppm, un 26% más que el máximo natural de los últimos 650.000 años. En el período 1995-2005 el incremento anual ha sido de 1,9 ppm, un 35% más que la media de los últimos 45 años. Estos incrementos son debidos al uso de los combustibles fósiles (un 82%) y también a la deforestación (un 18%). El metano y los óxidos de nitrógeno también han sufrido cambios significativos durante el período industrial, especialmente espectaculares en el metano, que ha multiplicado por 2,5 su concentración atmosférica, superando en casi 1.000 ppb el máximo natural de los últimos 650.000 años. Estos dos últimos gases proceden mayoritariamente de la actividad agraria, aunque su origen es múltiple.

El efecto neto medio de las actividades humanas ha supuesto un reforzamiento radiativo de 1,6 vatios por metro cuadrado, con respecto a la era preindustrial, considerando tanto los efectos que generan calentamiento (GEI, ozono troposférico, halocarburos, etc.) como los que generan enfriamiento (aerosoles, albedo de nubes, cambios en la superficie terrestre, etc.). Los cambios naturales en la irradiancia solar tienen un peso del orden del 8% con respecto a los de origen antropogénico en dicho reforzamiento radiativo.

Los mencionados informes del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático son categóricos: el calentamiento del sistema climático es inequívoco, evidenciado en los aumentos de las temperaturas medias del aire y de los océanos, en la pérdida generalizada de hielo y nieve y en el incremento medio del nivel del mar. Otros cambios generalizados afectan a la cantidad de las precipitaciones, la salinidad del agua marina, los patrones de viento y los eventos extremos climáticos, como sequías, tormentas, olas de calor e intensidad de los ciclones tropicales.

Gracias a un enorme esfuerzo internacional en investigación, disponemos de diferentes escenarios plausibles de control de los gases de efecto invernadero y distintos modelos climáticos, que nos permiten obtener una serie de proyecciones climáticas para las próximas décadas. Estas proyecciones oscilan aproximadamente entre 2 y 4 grados centígrados adicionales en la temperatura media del aire para la última década del siglo XXI, con una reducción del 10 al 30% de los recursos hídricos en las regiones secas de latitudes medias como nuestro país, en el que se afectarían también el turismo invernal, el turismo estival, el potencial hidroeléctrico y la productividad agrícola. Se predicen también problemas sanitarios asociados a las olas de calor e incremento de los incendios forestales. Los modelos específicos realizados para la Península Ibérica, auspiciados por la administración central, incrementan aún más la gravedad de todos estos impactos, pues los datos anteriores son valores medios.

En este contexto, el Protocolo de Kyoto solo puede entenderse como una primera fase para el control de las emisiones de gases de efecto invernadero. Reducir en 2012 un 5,2% de las emisiones de los países firmantes, respecto a las del año 1990, resulta a todas luces insuficiente. La intransigencia recalcitrante de los gobiernos republicanos de Estados Unidos y el papel cada vez más destacado de China, que ya es el país más contaminante al superar a este último este mismo año, incrementan la necesidad de nuevos acuerdos que superen los objetivos de Kyoto, como ha intentado la canciller alemana en la última reunión del G-8 y se ha planteado ya abiertamente en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático realizada en Bali a finales del 2007, con un escenario posKyoto con compromisos ambientales bastante más relevantes pero aún sin concretar.

Mitos y realidades en las nuevas fuentes energéticas

Teniendo en cuenta las implicaciones que conlleva continuar con un modelo energético basado en altos porcentajes de combustibles fósiles que generan energía no renovable, incluso los grandes centros de poder han empezado a plantearse la necesidad de modificar los porcentajes de participación en la producción energética de las energías renovables.

Ya el hecho de hablar de energías renovables supone hacer una opción, ya que hasta hace poco todavía se colocaba en el mismo grupo de las poco definidas "energías alternativas" a la energía nuclear o la combustión limpia del carbón. La energía nuclear no es renovable, y además, como se ha mencionado anteriormente, su agotamiento puede producirse en menos de un siglo al ritmo actual de producción. Solamente con una fuerte inyección de ayudas públicas puede hacerse rentable una inversión masiva en nuevas centrales nucleares. La opción nuclear de producirse será una opción política, ya que los criterios puramente económicos la descartan como alternativa viable. En muchas ocasiones, opciones que se presentan como puramente ecológicas ya presuponen una bien definida opción política previa (Forsyth, 2003). En el caso de la combustión limpia del carbón, todavía haría falta

una enorme inversión en investigación y desarrollo para alcanzar una tecnología verdaderamente limpia, que no renovable, del carbón. China y Estados Unidos, poseedores de inmensas reservas, apuestan fuertemente por esta opción (Goldemberg, 1996; Nakicenovic, 2002).

Y dentro del grupo de las energías renovables conviene hacer varias matizaciones: todavía hoy día se sitúa a la biomasa convencional (quema de leña para consumo doméstico) en las estadísticas de producción renovable. Aunque estrictamente es un recurso renovable, y el dióxido de carbono emitido durante su combustión fue en su día absorbido por la masa forestal lo que supone una emisión global cero en un plazo relativamente corto, no debería considerarse como tal por el alto impacto que tiene en la deforestación de grandes zonas, siendo el Sahel africano el caso más significativo. Sin embargo, en las estadísticas la biomasa aparece con un gran porcentaje, lo cual puede ser discutible. Igualmente hay un fuerte debate sobre la sostenibilidad de los biocombustibles fabricados a partir de cultivos ricos en azúcares. Las grandes extensiones de terreno necesarias para dicho cultivo podrían poner en peligro la seguridad alimentaria del propio país productor, como ya se ha denunciado en el caso de Brasil, con grandes programas de cultivos energéticos en marcha, o está ocurriendo en México. La otra gran matización que quisiéramos hacer se refiere a la energía hidráulica basada en grandes embalses: si bien la pequeña hidráulica puede tener un impacto ambiental controlable, la "gran hidráulica" supone un coste social y ecológico muchas veces superior al beneficio de la producción eléctrica limpia. Actualmente, con la presa china de Las Tres Gargantas aún caliente, el caso más llamativo es el macroyecto del gobierno de la India de construir una red de veintinueve grandes embalses en el valle del Narmada, lo que ya está suponiendo el desplazamiento de cientos de miles de campesinos pobres de sus tierras (Roy, 2002). Como señalan Meadows et al., 1992, las fuentes de energía renovable no son necesariamente inocuas para el medio ambiente, todo depende de sus dimensiones, localización y de la gestión adecuada.

Para alcanzar los objetivos que en línea ascendente parten del protocolo de Kyoto, la Unión Europea se ha propuesto el objetivo 20-20, que es un 20% de producción energética mediante fuentes renovables en 2020, o su prolongación recientemente planteada en la cumbre del G8, del 50-50, es decir 50% para 2050 a nivel mundial, considerada casi inviable y que ha encontrado el rechazo frontal de Estados Unidos y China. Esta propuesta al menos ha tenido la virtud de lanzar un debate importante de cara a la necesaria renovación del protocolo de Kyoto.

Las fuentes renovables que deberán jugar un papel importante en estos objetivos serán sin duda la energía eólica, la solar térmica y la solar fotovoltaica. En primer lugar la energía eólica ya ha alcanzado una madurez tecnológica que le permite competir en el mercado libre energético; su único impedimento suele ser la poca capacidad de la red eléctrica para evacuar la producción. Este problema afecta también a la solar fotovoltaica y su origen se encuentra en el

diseño radial de la red eléctrica, que ha sido pensada para distribuir energía desde unos pocos centros donde la producción está concentrada (centrales tradicionales) hacia los consumidores. Es necesario, por tanto, reconfigurar las redes eléctricas para adaptarlas a un modelo donde la producción está distribuida. A pesar de ello, la energía eólica es hoy día, con excepción de la hidráulica, la energía renovable con mayor participación en el total de la producción; en España, por ejemplo, se han alcanzado picos de producción que superaron el 20% del total varias veces a lo largo de 2006.

La energía solar térmica, donde se aprovecha la radiación solar para calentar un líquido que mediante el adecuado diseño de un sistema intercambiador de calor puede utilizarse tanto para calentar como para refrigerar, también está muy desarrollada tecnológicamente. El decreto que regula el Código Técnico de la Edificación (CTE, 2006) va a garantizar un impulso a esta tecnología en España, aunque es una pena que haya llegado tarde y no se haya aplicado a los miles de edificios que se han construido al amparo de la burbuja inmobiliaria. Nuevas centrales termoeléctricas han empezado a funcionar en Andalucía durante este año, siendo una región pionera en Europa en la demostración de la viabilidad económica de estas instalaciones.

La energía solar fotovoltaica, donde la energía de la radiación solar se convierte directamente en electricidad mediante un material semiconductor con el que están fabricadas las células solares, es todavía una energía cara. Aunque técnicamente está muy avanzada y se sigue investigando en nuevos materiales que puedan sustituir al silicio (células de muy alta eficiencia basadas en arseniuro de galio que trabajan con sistemas de concentración solar, o células de plástico, que aunque tienen menor eficiencia pueden ser muy baratas), su implantación es todavía muy reducida y requiere de fuertes ayudas públicas para alcanzar los índices de crecimiento necesarios para que acabe siendo una importante fuente renovable. Sin embargo, en zonas alejadas de la red eléctrica, puede ser rentable, a los precios actuales para distancias del usuario hasta la red superiores a los dos kilómetros.

Recientemente el hidrógeno ocupa un importante lugar en el debate sobre las Energías Renovables; sin embargo, conviene aclarar que el hidrógeno no es una fuente primaria de energía, ya que en la naturaleza no se encuentra libre sino combinado con otros elementos (en su mayoría con oxígeno, para formar agua, o con carbono, para formar hidrocarburos). Para poder utilizar el hidrógeno como combustible, por ejemplo en una "pila de combustible" (fuel-cell), es necesario romper dichos enlaces, lo que cuesta energía, que es la que luego se obtiene en la pila, con un rendimiento bastante bueno y en todo caso mayor que en los motores de combustión tradicionales.

Por ello el hidrógeno es un medio de transporte de energía, y solo podrá considerarse su contribución a las energías renovables si para su obtención se ha utilizado una fuente renovable de energía primaria. Por otro lado, quedan todavía problemas técnicos por resolver en cuanto a su almacenamiento y transporte, lo que no ha impedido que ya algunos países hayan empezado a crear sus redes de distribución pa-

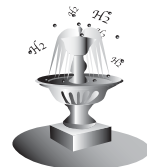


TABLA 2

Participación de las principales tecnologías de energía renovable en la producción de energía primaria y eléctrica para la UE

Tecnología	Participación en la producción de energía primaria de origen renovable	Participación en la producción eléctrica de origen renovable
Energía de la Biomasa	65%	13,4%
Energía Hidráulica	27%	71,2%
Energía Eólica	4%	13,8%
Energía Geotérmica	2%	1,3%
Energía Solar Térmica	1%	< 0,1%
Energía Solar Fotovoltaica	< 0,1%	0,15%

Datos del Euroserv'ER, 2005.

ra vehículos que usan el hidrógeno como combustible: por ejemplo, la futura flota de 200 autobuses que se van a desplegar en Londres, o la autopista Oslo-Stavanger en Noruega, con "hidrogeneras" cada 80 kilómetros para permitir repostar a los nuevos vehículos de hidrógeno que ya se están vendiendo en dicho país.

Finalmente comentaremos algunas cifras del Eurobarómetro de las Energías Renovables (Euroserv'ER, 2005) para ilustrar el impacto real de las fuentes renovables: solamente el 5,61 % de la energía primaria consumida en la Unión Europea es de origen renovable (el 6,42 % en España); si consideramos el consumo eléctrico en la UE, el 14,21 % es de origen renovable (el 20,13 % en España). El reparto para las tecnologías más importantes para el conjunto de la UE se puede ver en la tabla 2.

Salta a la vista el impacto de las distintas tecnologías y la necesidad de continuar con una política de apoyos públicos, claramente para la energía solar térmica y fotovoltaica. Aun así, la Unión Europea, que se considera la región más avanzada en la implantación de las energías renovables, está lejos de conseguir los objetivos que se ha planteado para el año 2010: un 12 % en la energía primaria y un 21 % de la producción eléctrica a partir de fuentes renovables.

Los datos a nivel mundial son todavía más desesperanzadores. Más aún si cabe cuando consideramos que una buena parte de la población tiene un consumo energético muy lejos de la media europea. Posiblemente el consumo europeo sea excesivo e insostenible, pero si consideramos que toda la población mundial tiene derecho al menos a igualar el nivel europeo (no consideramos el caso de Estados Unidos, con diferencia el mayor consumidor de energía per cápita del mundo), va a ser necesario que buena parte de ese nuevo consumo energético se produzca a partir de fuentes renovables. El recientemente publicado Informe Stern (Stern, 2007) establece claramente que el coste económico de no actuar contra las amenazas de un modelo no sostenible de producción energética será mucho mayor que el apoyo decidido a las tecnologías de energías renovables y las medidas de eficiencia y ahorro energético. Dada la gran credibilidad del informe en-

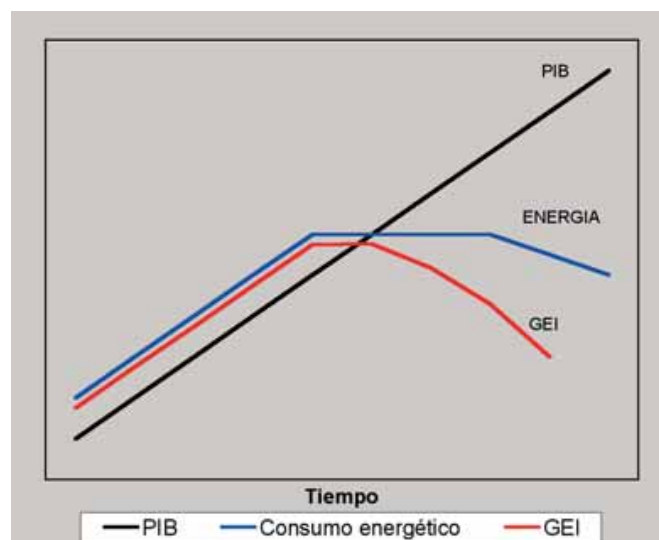


Fig. 5. Ilustración que muestra el recorrido hipotético desde la insostenibilidad ambiental y energética, lado izquierdo de la gráfica, a un desarrollo sostenible en ambos aspectos, lado derecho de la gráfica. PIB: Producto Interior Bruto, Energía: consumo energético, GEI: gases de efecto invernadero.

tre los gobiernos y las grandes multinacionales, el impacto ha sido grande y ya se ha notado desde hace unos pocos meses que algo importante se está produciendo en cuanto a la movilización de inversiones tanto de presupuestos públicos como de capital privado. Esto debería acompañarse de una política activa de transferencia de tecnología a los países en desarrollo y la creación de una industria de las energías renovables verdaderamente deslocalizada que no reproduzca las relaciones de dependencia que han existido en los modelos más tradicionales de desarrollo (Forsyth, 1999; Wilkins, 2002).

Sostenibilidad energética y ambiental: conceptos e indicadores

Desde su propuesta en 1988, en el IV Plan de Acción de Medio Ambiente de la Comunidad Económica Europea, y su refrendo en el V Programa Europeo de Medio Ambiente de 1992, e inmediata proyección en la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro, cualquier política ambiental y económica debe incorporar un conjunto de indicadores de sostenibilidad que permita evaluar con rapidez y objetividad el grado de cumplimiento de sus metas y objetivos. Desde entonces las propuestas de criterios e indicadores para dotar de operatividad al concepto de desarrollo sostenible han sido muchas y en todos los ámbitos (internacional, nacional y local). A continuación vamos a describir de una forma directa y sencilla qué se puede entender por sostenibilidad en el ámbito energético y en el campo ambiental asociado al mismo, señalando algunos de los indicadores primarios implicados.

La figura 5 ilustra conceptualmente algunos de los componentes de la sostenibilidad ambiental y energética del desarrollo económico. El caso elegido como pauta general se aproxima en términos globales al caso español, que nos servirá de ejemplo. Observemos la gráfica. En una primera parte del período temporal (que correspondería en España de 1990 a 2006) el crecimiento económico medido por el PIB lleva asociado un consumo energético y una producción de ga-

ses de efecto invernadero directamente proporcional al mismo. Las tres curvas tienen una pendiente equivalente. Este es un caso típico de desarrollo insostenible, que corresponde de forma general a lo ocurrido en nuestro país (OSE, 2005), aunque en energía primaria la pendiente es incluso ligeramente mayor (presenta una superasociación con el PIB, lo que es aún más grave). Por el contrario, a partir del segundo período temporal se observa primeramente una estabilización en el consumo de recursos energéticos y en la emisión de gases de efecto invernadero y posteriormente una disociación con el PIB, reduciéndose ambos componentes. Esta desmaterialización o disociación del crecimiento económico con el consumo de recursos y con la contaminación es el rasgo más definitorio de la sostenibilidad del desarrollo.

Dicha desmaterialización es en ambos indicadores, aunque más acentuada en la emisión de gases de efecto invernadero que en el consumo energético. Esto significa que para acercarse a la sostenibilidad no es suficiente sustituir recursos energéticos fósiles por energías renovables, con lo que efectivamente reducimos la intensidad de carbono del crecimiento económico, pero no su intensidad energética. Además de hacer esto, es preciso reducir dicha intensidad energética del PIB mediante políticas activas de ahorro y eficiencia. España en 2002 consumía 40.000 toneladas equivalentes de petróleo por unidad de PIB más que el resto de la Europa de los 15, es decir, un 17% más (OSE, 2005), y dicha intensidad energética mantiene una tendencia ascendente, divergiendo con las tendencias claramente descendentes de la Unión Europea en su conjunto. En cuanto a la intensidad de carbono de la economía, España también se encuentra en mala situación. En 2005 se llegó a unos niveles de emisión de GEI del 152% con respecto a 1990, el año de referencia, lo que dificulta enormemente el cumplimiento con los objetivos de Kyoto (un 115%) ya de por sí permisivos (la media de la Unión Europea es de un 92%). Para cumplir en 2012 con Kyoto, debemos reducir directamente, con políticas internas, 15 puntos, dejando las emisiones en un 137%, computar 20 puntos con acuerdos internacionales mediante mecanismos de flexibilidad y reducir otros dos puntos con sumideros, naturales o geológicos, hasta llegar al umbral objetivo del 115%. Este esquema responde en términos generales a la senda de cumplimiento prevista en el Plan Nacional de Asignación de GEI 2008-2012, plan que sustituye al anterior tras su fracaso en la primera etapa de implementación. Un dato esperanzador: en 2006 se ha reducido el consumo energético y la producción de gases de efecto invernadero (un 1,3% en energía primaria y un 4% en GEI con respecto al año de referencia 1990). Esperemos la continuidad de este cambio de tendencias, a pesar de las negativas previsiones que se deducen del Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte (PEIT) y de la Revisión 2005-2011 de la Planificación de los Sectores de Electricidad y Gas 2002-2011. En cualquier caso, esta hoja de ruta deberá ser revisada con los acuerdos recientes de enero de 2008, de la Comisión Europea sobre Cambio Climático, con implicaciones directas para nuestro país en términos de reducciones de gases de efecto invernadero y de potenciación de las energías alternativas.

El Plan Nacional de Asignación mencionado forma parte de la Estrategia Española de Cambio Climático y Energía Limpia Horizonte 2012, en el que se proponen hasta 73 indicadores ambientales para su seguimiento y evaluación. Dichos indicadores están agrupados en los grandes epígrafes de la estrategia: cooperación institucional, mecanismos de flexibilidad, cooperación con países en desarrollo, comercio de emisiones, sumideros, captura y almacenamiento geológico, sectores difusos (transporte, residencias y comercio, sector agrario, residuos y gases fluorados), adaptación, información y sensibilización, I+D+i, energía limpia (eficiencia energética, energías renovables, gestión de la demanda, e investigación, desarrollo e innovación). En cualquier caso, los indicadores de sostenibilidad ambiental básicos en Cambio Global y Energía son (OSE, 2005): emisiones de GEI, consumo de energía primaria y final, nivel de dependencia energética, intensidad de carbono en la economía, intensidad energética en la economía y energía de fuentes renovables. Estas contabilidades son las básicas para una primera evaluación de la sostenibilidad de nuestro desarrollo económico en los campos energético y ambiental. □

Miguel Ángel Esteve Selma* y Antonio Urbina Yeregui**

*Doctor en Biología. Profesor Titular de Universidad.
Departamento de Ecología e Hidrología
Universidad de Murcia

**Doctor en Física. Profesor Titular de Universidad.
Departamento de Electrónica. ESTI Telecomunicaciones
Universidad Politécnica de Cartagena

Referencias

- AIE, *World Energy Outlook 2005*, París, OCDE/AIE, 2005.
- British Petroleum (BP). *Statistical Review of World Energy*, London, 2003.
- CTE: *Código Técnico de la Edificación*, Real Decreto 314/2006 de 17 de marzo. BOE nº 74, 28 de marzo de 2006.
- Euroserv'ER, *5º informe*, Comisión Europea, 2005.
- Forsyth, Tim, *International investment and climate change: energy technologies for developing countries*, Earthscan, 1999.
- Forsyth, Tim, *Critical Political Ecology*, Routledge, 2003.
- Goldemberg, J., *Energy, environment and development*, Earthscan, 1996.
- Grimmet, Richard, *Conventional Arms Transfers to Developing Nations, 1995-2002*, Library of Congress, Congressional Research Service, Washington, 2003.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (GIECC), *Cuarto Informe de Evaluación Cambio Climático 2007, Grupo de Trabajo I: Las Bases Científicas, Grupo de Trabajo II: Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad al Cambio Climático, Grupo de Trabajo III: Mitigación del Cambio Climático*, Intergovernmental Panel Of Climate Change, UNEP, WMO, 2007.
- Hinde, Robert and Rotblat, Joseph, *War no more*, Pluto Press, 2003.
- Hubbert, M. King, "Nuclear Energy and the Fossil Fuels", 1956. Presentado en el Spring Meeting of the Southern District, American Petroleum Institute, Plaza Hotel, San Antonio, Texas, March 7-8-9, 1956 (publication n. 95, *Shell Development Company*, June 1956).
- Leech, Garry, *Crude interventions*, Zed Books, 2006.
- Meadows, Donella, Meadows, Dennis and Randers, Jorgen, *Más allá de los límites del crecimiento*, Madrid, El País-Aguilar, 1992.
- Nakicenovic, N., Grüble, A. and McDonald, A., *Global Energy Perspectives*, Cambridge University Press, 1998.
- Observatorio de Sostenibilidad de España (OSE), *Sostenibilidad en España 2005. Informe de Primavera*, Alcalá de Henares, Ministerio de Medio Ambiente, Fundación Biodiversidad, Fundación Universidad de Alcalá, 2005.
- Rosen, Daniel H. & Houser, Trevor, *China Energy: A guide for the perplexed*, Peterson Institute for International Economic, 2007.
- Roy, Arundathi, *El algebra de la justicia infinita*, Anagrama, 2002.
- Shelley, Toby, *Oil, politics, poverty and the planet*, Zed Books, 2005.
- Stern, Nicholas, "The Economics of Climate Change", *The Stern Review*, Cambridge University Press, 2007.
- Tablada, Carlos y Hernández, Gladys, *Petróleo, poder y civilización*, Editorial Popular, 2004.
- Wilkins, Gill, *Technology transfer for renewable energy*, Earthscan, 2002.

