



Real Academia de Ingeniería de España

ENERGÍA Y DESARROLLO SOSTENIBLE

Extracto del discurso del académico electo

Excmo. Sr. D. José Ignacio Pérez Arriaga

28 de Octubre de 2003

1. La cuestión energética¹

Empecemos por revisar algunos conceptos y datos básicos para saber dónde estamos y hacia dónde parece que nos dirigimos en el mundo de la energía. Un sistema de energía consta, por un lado, de los procedimientos de suministro y, por otro, de las tecnologías de uso final. El objeto de un sistema de energía es proporcionar a sus consumidores diversos servicios, como la iluminación, el cocinado de alimentos, la climatización, las comunicaciones o el transporte. La energía también se precisa para prácticamente cualquier actividad comercial o industrial.

La cadena energética que proporciona estos servicios comienza con la recogida o extracción de energía primaria, -tal como leña, gas natural, agua, radiación solar, viento o carbón- que, en uno o más pasos, se transforma en vectores energéticos, tales como gasolina o electricidad, -el hidrógeno ya comienza a emerger como otra alternativa-, que son directamente utilizables para usos finales. Para ello se precisan equipos, tales como bombillas, cocinas, vehículos o maquinaria industrial diversa. Desde la perspectiva del consumidor lo que importa son los servicios finales que la energía suministra.

¹ A lo largo de la exposición se hará frecuente mención a un conjunto de informes y libros recientes de las Naciones Unidas, la Agencia Internacional de la Energía, el Consejo Mundial de la Energía y otras organizaciones solventes, cuya referencias completas se ofrecen a continuación, así como las referencias abreviadas que se utilizarán de ahora en adelante en este documento: *World Energy Assessment*, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), World Energy Council (WEC), Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas (UNDESA), 2000, en adelante **WEA**; B) *Perspectivas del medio ambiente mundial, GEO-2000*, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), 1999, en adelante **GEO-2000**; C) Informes anuales del Worldwatch Institute, como *La situación del mundo 2002*, Icaria Editorial, mayo 2002, en adelante **WWI-2002**, y *State of the World 2003*, W. W. Norton & Company, 2003, en adelante **WWI-2003**; D) *World Energy Outlook 2002*, International Energy Agency, IEA/OECD, 2002, en adelante **IEA-2002**; E) *Toward a sustainable energy future*, International Energy Agency, IEA/OECD, 2001, en adelante **IEA-2001**; F) los informes anuales *Informe sobre el Desarrollo Humano*, del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Ediciones Mundi-Prensa, en adelante **PNUD-1999** ó **PNUD-2003**, por ejemplo; G) World Energy Council, *Living in one world*, 2001, www.worldenergy.org, en adelante **WEC-2001**; H) *International Energy Outlook 2003*, Energy Information Administration, US Department of Energy, DOE/EIA-0484(2003), mayo 2003, en adelante **EIA-2003**; I) *World energy, technology and climate policy outlook 2030 (WETO)*, European Commission, Directorate-General for Research, 2003, <http://europa.eu.int/comm/research/>, en adelante **WETO-2003**; J) BP Statistical review of world energy, British Petroleum, junio 2003, www.bp.com/centres/energy, en adelante **BP-2003**; K) *Consumo de energía y crecimiento económico*, Comisión Nacional de Energía y Club Español de la Energía, 2002, en adelante **CNE / ENERCLUB**.

Un 80% de la demanda global actual de energía de las actividades humanas² proviene de combustibles fósiles, -como el petróleo (36%), el carbón (23%) o el gas natural (21%)-, la energía nuclear proporciona un 6%, las grandes centrales hidroeléctricas un 2%, las formas avanzadas de energías renovables³, -tales como solar, eólica, minihidráulica o biomasa- otro 2%, mientras que la utilización tradicional de biomasa, -forma principal de suministro energético de los 2000 millones de habitantes menos desarrollados energéticamente-, representa el 10% restante.

¿Cómo se distribuye esta demanda de energía entre los habitantes del planeta? El valor medio mundial en el año 2000 fue de 1,68 tep (toneladas equivalentes de petróleo) por persona, que es 5 veces menor que en los EEUU y la mitad que en España, pero casi 3 veces mayor que el promedio de África⁴. Por supuesto que muchos habitantes de países poco desarrollados consumen mucho menos⁵. En los países en desarrollo la utilización tradicional de biomasa es la principal fuente de energía, con un 25% del abastecimiento, que llega a ser del 90% en los países más pobres⁶.

La Tierra cuenta hoy con algo más de 6.000 millones de habitantes⁷. Un tercio de la humanidad, esto es, 2.000 millones de personas, no tienen acceso a las formas avanzadas de energía: electricidad o combustibles líquidos o gaseosos, ni por consiguiente a las tecnologías que los utilizan⁸. Los 30 países más desarrollados y que integran la OCDE, -la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico-, con cerca del 15% de la población mundial consumen el 53% de estas formas avanzadas de energía⁹.

En los países ricos, las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) per cápita son de 12,4 toneladas, mientras que en los países de medianos ingresos éstas son de 3,2 toneladas y en los de ingresos bajos de 1,0 toneladas. Pero es que, además, los pobres son los más vulnerables a los impactos ambientales adversos, como son los efectos anticipados del cambio climático mundial¹⁰.

Dos recientes estudios de prospectiva en el sector energético, -el World Energy Outlook de la Agencia Internacional de la Energía¹¹ y el World Energy, Technology and Climate Policy Outlook de la Comisión Europea¹², coinciden básicamente en sus proyecciones para el año 2030¹³. Ambos dibujan un futuro en el que el consumo de energía crece inexorablemente, los

² Esta demanda mundial de energía primaria, incluyendo la de biomasa no comercial, se estima en más de 10.000 millones de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep) en el año 2000. Ver IEA-2002, pp. 58, 68 y 404. La demanda y la producción de energía son conceptos equivalentes. El consumo final, una vez restadas las pérdidas de distribución y transformación, no alcanza los 7.000 Mtep.

³ Se denominan renovables por tratarse de recursos energéticos de libre disposición e inagotables, como el viento o el sol, o que pueden reponerse en un espacio breve de tiempo, como es el caso de la biomasa o de la energía hidráulica.

⁴ International Energy Agency, *Key World Energy Statistics 2002 edition*, OECD/IEA 2002.

⁵ WEA, p.4, CNE / ENERCLUB, p. 46.

⁶ WEA p. 156.

⁷ Según estudios recientes de las Naciones Unidas la Tierra tendrá unos 8.500 millones de personas en el año 2025 y 10.000 millones en el 2050. Nacen diariamente cerca de 250.000 personas La población mundial se ha multiplicado por siete en los últimos 200 años. Había 900 millones de personas en el mundo en 1800. Hace un siglo había solamente 1.650 millones. Pero en 1950 el número ya era de 2.500 millones y ahora somos más de 6.000. De acuerdo al *The year 2000 revision* de las Naciones Unidas, la estimación media para 2050 es de 9.300 millones, siendo 7.900 millones y 10.900 millones las estimaciones baja y alta, respectivamente. La población de las regiones menos desarrolladas se prevé que aumentará desde los 4.900 millones actuales hasta 8.200 millones. Ver WEA-2001, pp. 17-18 y 77-81. Sin embargo existen cambios en las tendencias demográficas más o menos inesperados, como la drástica reducción en la tasa de fertilidad de algunos países del este de Asia o la trágica incidencia del SIDA, ver WWI-2003, pp. 10 a 13.

⁸ Las formas de energía “tradicionales” consisten en leña, estiércol, rastrojos y fuerza animal o humana, mientras que las formas “avanzadas” o modernas se refieren a la electricidad, al queroseno u otros combustibles líquidos o gaseosos que se pueden comercializar habitualmente.

⁹ International Energy Agency, *Key World Energy Statistics 2002 edition*, OECD/IEA 2002.

¹⁰ PNUD-2003, p. 10.

¹¹ IEA-2002.

¹² WETO-2003.

¹³ Las previsiones más destacables del estudio de la Agencia Internacional de la Energía son las siguientes:

- La demanda de energía crecerá 1,7% por año desde 2000 a 2030, cuando alcanzará los 15,3 miles de millones de toneladas equivalentes de petróleo. Esto supone un aumento del 66% sobre la demanda actual. Este crecimiento es más lento que el medio de las tres décadas anteriores: 2,1% anual.

combustibles fósiles continúan dominando el suministro de energía y los países en desarrollo se van aproximando rápidamente a los países de la OCDE en su consumo de energía comercial. Los dos estudios encuentran que los recursos energéticos de la Tierra son sin duda alguna adecuados para cubrir la demanda durante al menos las tres próximas décadas, pero sus proyecciones plantean serias preocupaciones sobre la seguridad del suministro energético, la adecuación de las inversiones en infraestructuras energéticas, la amenaza de deterioro medioambiental causada por la producción de energía y el desigual acceso de la población mundial a las distintas formas avanzadas de la energía. Según el estudio de la Agencia Internacional de la Energía en 2030 todavía 1.400 millones de personas, -el 17% de la población mundial-, seguiría sin acceso a la electricidad, a pesar del aumento generalizado de la prosperidad y del avance tecnológico¹⁴. El estudio de la Comisión Europea señala que el declive en las reservas convencionales de petróleo comenzará a partir de 2030, lo que no podrá ser compensado totalmente por el aumento previsto de las reservas no convencionales, esto es, las de un coste de extracción apreciablemente superior.

En ambos estudios las proyecciones han sido realizadas suponiendo que las políticas energéticas son las mismas que existen a mediados de 2002. Hay un escenario alternativo, en el que se han aplicado las políticas energéticas que los países de la OCDE están actualmente considerando que podrían adoptar, así como una más rápida implantación de nuevas tecnologías. En el escenario alternativo habría una fuerte reducción de las emisiones de CO₂ respecto al escenario de referencia, aunque todavía sería insuficiente para cumplir con el acuerdo de Kioto. La mayoría de la reducción sería debida a la disminución de la generación eléctrica convencional, por el ahorro energético y un espectacular aumento de la producción con renovables.

1.2. Un planteamiento integral

- Casi tres cuartas partes del incremento de demanda provendrá del sector de transporte, que crecerá un 2,1% por año, mientras que la industria lo hará al 1,5% y el sector residencial al 1,7%. El consumo del transporte superará al industrial en los años 2020.
- Más del 60% del aumento de la demanda provendrá de los países en desarrollo, especialmente de Asia, y su porcentaje sobre el total crecerá del 30% al 43% mientras que el de la OCDE se reducirá del 58% al 47%.
- El 90% del aumento de la demanda será cubierto con combustibles fósiles. La demanda de petróleo crecerá el 1,6% anual.
- La demanda de gas natural crecerá más rápidamente que la de cualquier otro combustible fósil, duplicándose entre 2000 y 2030.
- El consumo de electricidad crecerá un 2,4% anual, más rápido que el de cualquier otro uso final de energía y se duplicará en el 2030. Su porcentaje sobre la demanda final total pasará del 18% en 2000 a 22% en 2030.
- La producción con energías renovables crecerá más rápidamente que cualquier otra fuente primaria de energía. Las renovables, exceptuando la hidráulica, crecerán al 3,3%. Pero seguirán sin suponer mucho en el contexto global en el 2030, por provenir de una base reducida en el 2000.
- Las emisiones de CO₂ crecerán un 1,8% anual, llegando a los 38 miles de millones de toneladas en el 2030, esto es, 16 miles de millones de toneladas (70%) más que en el 2000. Dos tercios del aumento provendrá de países en desarrollo. Tres cuartas partes del aumento provendrán del transporte y de la generación de electricidad. La emisiones de los países de la OCDE que han firmado el Protocolo de Kioto excederán en un 29% (2,8 miles de millones de toneladas) su compromiso en el 2010.
- Se necesitarán inversiones de aproximadamente 4,2 billones (europeos, esto es 10¹²) de dólares en nueva capacidad mundial de generación entre ahora y 2030. Y 2 billones para instalar 1.900 GW de nueva generación eléctrica en los países no pertenecientes a la OCDE.
- En el escenario alternativo los países de la OECD reducirán emisiones un 16% (2,15 miles de millones de toneladas) respecto al escenario de referencia, pero todavía insuficiente para cumplir con Kioto. La mayoría de la reducción será debida a reducción en generación eléctrica, por el aumento de la producción con renovables y el ahorro energético. Según el estudio de la UE, el volumen de producción con tecnologías renovables avanzadas en el escenario alternativo sería 20 veces superior al del escenario de referencia.

¹⁴ La tasa de electrificación superaría el 96% en todas las regiones del mundo excepto en el sur de Asia, África Subsahariana y el norte de África. Ver International Energy Agency, *Key World Energy Statistics 2002 edition*, IEA-2002, cap. 13.

¿Cuál es entonces la dirección correcta? Empecemos por definir el concepto de sostenibilidad. Desarrollamos nuestra actividad en un planeta cuyos recursos son finitos. El modelo económico debe reconocer que existen unos límites al crecimiento y que esos límites deben estar basados en la capacidad del planeta de renovar sus recursos naturales, así como en su capacidad de carga para admitir las emisiones contaminantes. Esta es la razón por la que es necesario elaborar estrategias de desarrollo sostenible.

La idea de “desarrollo sostenible” fue formulada explícitamente en el informe presentado por la Comisión de Medio Ambiente y Desarrollo de Naciones Unidas en 1987, -conocido como el Informe Brundtland-, como “el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades”. El desarrollo sostenible descansa sobre la aceptación de que el desarrollo es posible y necesario; de que debe hacerse sostenible, perdurable y viable en el tiempo, y de que la sostenibilidad debe ser triple: económica, social y ambiental¹⁵.

La Declaración de Río, adoptada en el seno de la famosa Conferencia de Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo en 1992¹⁶ y ratificada 10 años más tarde en la Cumbre de Johannesburgo, situó el desarrollo sostenible como un elemento central y le otorgó una amplia trascendencia política, al establecerlo como marco conceptual de orientación de políticas y estrategias para el progreso mundial¹⁷. En la actualidad el desarrollo sostenible puede considerarse como un verdadero principio jurídico, que se va incorporando gradualmente en la legislación a todos los niveles¹⁸.

Examinemos ahora el desarrollo sostenible desde la perspectiva energética. La energía tiene relaciones profundas y amplias con las tres dimensiones de la sostenibilidad. Es precisamente la producción y consumo de energía, -de manera que soporte el desarrollo humano en sus dimensiones social, económica y medioambiental-, lo que entendemos por sostenibilidad energética. Los servicios que la energía proporciona contribuyen a satisfacer múltiples necesidades básicas como el suministro de agua potable, la iluminación, la salud, la capacidad de producir, transportar y procesar alimentos, la movilidad o el acceso a la información, de forma que la disponibilidad de un cierto volumen de formas avanzadas de energía debería incluirse entre los derechos inalienables del ser humano en el siglo XXI. La seguridad del abastecimiento energético y el precio de la energía son factores cruciales para el desarrollo económico. Por otro lado, ya es evidente que muchas de las formas de producción y consumo de la energía pueden reducir la sostenibilidad medioambiental.

Debemos ahora preguntarnos: ¿Es sostenible nuestro patrón actual de producción y consumo de energía?

¹⁵ Ver OECD, International Energy Agency, “Toward a sustainable energy future”, OECD/IEA 2001, capítulo 2.

También “Estrategia española de desarrollo sostenible”, www.esp-sostenible.net.

¹⁶ Esta conferencia de las Naciones Unidas es también conocida como “la Cumbre de Río” o “la Cumbre de la Tierra”.

¹⁷ La Agenda 21, -el programa de actuación que fue adoptado en la Conferencia de Río para conseguir un desarrollo sostenible-, ha sido firmada por 175 países. La contribución al debate y al impulso de estrategias de desarrollo sostenible por parte de la Unión Europea es asimismo muy significativa. Cabe destacar la introducción del desarrollo sostenible en los tratados comunitarios a partir del Tratado de Amsterdam en 1997, incluyéndolo entre los principios fundamentales de la Unión y en sus políticas de actuación. En concreto, el artículo 2 del Tratado establece que la Unión tendrá como objetivos promover el progreso económico y social y un alto nivel de empleo y conseguir un desarrollo equilibrado y sostenible. El Consejo Europeo de Gotemburgo, celebrado en junio de 2001, adoptó la Estrategia de la Unión Europea para un Desarrollo Sostenible, que se basa en la selección de cuatro prioridades, como primer paso para la orientación futura de las políticas: cambio climático, transportes, salud pública y recursos naturales. De forma explícita o implícita se encuentra también en la legislación energética de muchos de los países de la Unión.

¹⁸ “El desarrollo sostenible es hoy, pues, un verdadero principio jurídico. En él se fundamenta el legislador cada vez con más normalidad e insistencia, y en él se amparan ya, con decisión creciente, los Tribunales. Es además un principio de alcance horizontal, que no sabe de académicas clasificaciones. Alcanza al derecho público y al privado. Merece el respeto de los poderes públicos (que sin duda deben sentirse vinculados por él) y de las organizaciones privadas, así como de cuantos habitamos el planeta, teniendo en cuenta que quienes con mayor razón hemos de sentirnos por él vinculados somos quienes desde el mundo occidental y desarrollado podemos ponerlo con más probabilidad en peligro. Por eso es imprescindible potenciar la enseñanza en, por y para el desarrollo sostenible”. Ver *Desarrollo sostenible y protección del medio ambiente*, J.L. Piñar Mañas (Director), Civitas Ediciones S. L., 2002, p. 45.

2. Los condicionantes de la sostenibilidad energética.

Es unánime la opinión de las distintas organizaciones solventes que han examinado la sostenibilidad del actual sistema energético mundial¹⁹. Citemos, por ejemplo, el *Informe mundial de la energía*²⁰, publicado conjuntamente en 2000 por el Consejo Mundial de la Energía, el Programa para el Desarrollo de las Naciones Unidas y el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas, y que es un texto clave de referencia en lo que concierne a una visión global de los aspectos de la energía. Este documento es contundente al respecto y dice textualmente:

“Aunque no parece haber límites físicos en el suministro mundial de energía durante al menos los próximos cincuenta años, el sistema energético actual es insostenible por consideraciones de equidad así como por problemas medioambientales, económicos y geopolíticos que tienen implicaciones a muy largo plazo. Entre los aspectos de la falta de sostenibilidad deben incluirse los tres siguientes:

- Los combustibles avanzados y la electricidad no son universalmente accesibles, lo que constituye una desigualdad que tiene implicaciones morales, políticas y prácticas en un mundo cada vez más globalizado.
- El sistema energético actual no es lo suficientemente fiable o asequible económicamente como para soportar un crecimiento económico generalizado. La productividad de un tercio de la humanidad está seriamente comprometida por la falta de acceso a las formas avanzadas de energía y tal vez otro tercio sufre penalidades económicas e inseguridad a causa de un suministro energético poco fiable.
- Los impactos negativos, -tanto a nivel local, como regional y global-, de la producción y del uso de la energía amenazan la salud y el bienestar de la generación actual y de las futuras.”

Son, por tanto, tres los factores que condicionan la sostenibilidad de nuestro modelo energético: la disponibilidad de recursos para hacer frente a la demanda de energía, el impacto ambiental ocasionado por los medios utilizados para su suministro y consumo, y la enorme falta de equidad en el acceso a este elemento imprescindible para el desarrollo humano en la actualidad. Examinaremos brevemente a continuación cada uno de ellos.

2.1. La seguridad del abastecimiento energético: los recursos disponibles.

Como vimos antes, seguridad de abastecimiento es sinónimo de disponibilidad de toda la energía que se necesite a un precio asequible y durante un largo plazo, -indefinidamente, de hecho-, para que sea sostenible.

Bajo una perspectiva mundial²¹ parece que lo primero que nos debiera preocupar es la existencia de suficientes reservas energéticas para hacer frente al consumo esperado. Por “reservas” de una fuente determinada de energía, -petróleo, por ejemplo-, entenderemos aquellas cantidades que puede estimarse con una certidumbre razonable que podrán recuperarse en el futuro a partir de depósitos conocidos y con la tecnología y precios actuales. Por otro lado, los “recursos” incluyen las reservas existentes más las que se estima que aún quedan por descubrir. No entraré aquí a proporcionar los datos concretos para cada tecnología, que pueden encontrarse en la bibliografía que se facilita y en las notas de pie de página²². Pero la conclusión

¹⁹ Véase por ejemplo la opinión al respecto de la Agencia Internacional de la Energía, organismo establecido por la OCDE, en su documento *Toward a sustainable energy future*, IEA/OECD, 2001. También PNUD-2003, WEC-2001. Ver también *Report of the World Summit on Sustainable Development*, Johannesburg, South Africa, 26 August – 4 September, United Nations, 2002; *Hacia una estrategia europea de seguridad del abastecimiento energético*, Libro Verde de la Comisión de las Comunidades Europeas, Bruselas, 29.11.2000, COM(2000), ver también el documento divulgativo *Energía: Controlemos nuestra dependencia*, Comisión Europea, 2002; ambos se encuentran en: http://europa.eu.int/comm/energy_transport/es/lpi_lv_es1.html.

²⁰ Este es el documento que hemos referenciado como “WEA”, por “World Energy Assessment”.

²¹ Si la seguridad de suministro se contempla desde una perspectiva nacional, la dependencia de recursos externos y la incertidumbre de este aprovisionamiento no autóctono se convierte en un aspecto relevante. Así, la dependencia del petróleo de los países de la OCDE es de cerca del 55% en la actualidad y se estima que sea de más del 70% en el 2010. La diversificación en los aprovisionamientos, la estabilidad política, el buen funcionamiento de los mercados y la mejora de la eficiencia energética son los principales medios para hacer frente a las situaciones de dependencia.

²² WEA, capítulo 5; WEC-2001, capítulo 6; WETO-2003, sección 2.4; BP-2003.

global, obtenida de las mismas organizaciones consultadas anteriormente acerca de nuestra sostenibilidad energética, es que los recursos energéticos de petróleo, gas natural, carbón y materiales apropiados para la fisión nuclear son abundantes y que, con las sustituciones e innovaciones tecnológicas adecuadas, no parece que vayan a restringir el desarrollo durante por lo menos el siglo que acaba de comenzar²³.

He de confesar, sin embargo, mi intranquilidad al observar que la mayor parte de los estudios de prospectiva energética disponibles tienen como horizonte máximo el año 2030 y que se admite abiertamente que, para fechas no mucho más lejanas, el petróleo de un coste moderado de extracción puede empezar a escasear. Así, el reciente documento de la Comisión Europea: *Energía: Controlemos nuestra dependencia*, afirma que “atendiendo a los condicionantes geológicos, cabe prever que dentro de cincuenta años prácticamente ya no habrá petróleo ni gas o, si los hay, su extracción será muy cara, sin punto de comparación con los precios actuales. En otras palabras, hay cantidades limitadas de estos recursos naturales y no hacemos más que dilapidarlas²⁴. Otro motivo de preocupación es la acusada concentración geográfica de las reservas conocidas de gas y petróleo, con obvias implicaciones geopolíticas.

Históricamente, el progreso tecnológico ha ayudado sistemáticamente a mejorar las previsiones sobre la disponibilidad de recursos energéticos²⁵. Sin embargo este progreso necesita ser promovido con precios de mercado convenientemente modificados o bien con mecanismos regulatorios adecuados, mientras la ausencia de una escasez inmediata de los recursos y la visión cortoplacista de los que los explotan no permita que los precios reflejen apropiadamente la escasez futura.

¿Cuánto pueden aportar las energías renovables a la seguridad de abastecimiento? Su contribución actual a la cobertura de la demanda mundial no supera el 12 %, lo que incluye el 10% de la utilización tradicional de la biomasa. Pero la evaluación de la contribución de las energías renovables no debe realizarse en forma de reservas, sino de potencial de producción. Y la realización de este potencial depende críticamente de las condiciones económicas y regulatorias. Hablaremos más adelante del potencial de las energías renovables, cuando tratemos de los ingredientes que pueden integrar un futuro energéticamente sostenible.

Aunque la disponibilidad de los recursos energéticos no parece que vaya a limitar la sostenibilidad del desarrollo humano durante el presente siglo, la ONU, el Consejo Mundial de la Energía y la Agencia Internacional de la Energía²⁶ nos previenen de que el impacto ambiental de los procesos actualmente empleados para producir la energía, utilizarla y tratar los residuos es insostenible. En otras palabras, que lo más crítico no es cuándo se acabarían los recursos energéticos disponibles, sino que no podemos permitirnos seguir utilizándolos en la forma en que lo venimos haciendo, por el impacto medioambiental que esto supone. Este es el tema que a continuación abordamos.

²³ De acuerdo a la referencia WEA, las reservas de petróleo y de gas, -tanto en formas convencionales como no convencionales-, son unas 80 y 180 veces superiores, respectivamente, a su consumo anual actual -aunque en el caso del gas natural el consumo crece muy rápidamente -, y los recursos más del doble de veces. Para el carbón las cifras son más favorables, pues las reservas cubrirían el consumo actual de este combustible durante unos 200 años y los recursos 10 veces más. Hay que recordar, sin embargo, que extrapolando la tendencia actual el consumo se duplicaría en 2037. Las estimaciones del prestigioso informe anual BP-2003 son las siguientes: los ratios de reservas confirmadas a los correspondientes consumos anuales para petróleo, gas y natural y carbón son de 41, 61 y 204, respectivamente. Las reservas de uranio, el material utilizado comercialmente en las actuales plantas nucleares de fisión, son suficientes para cubrir las necesidades de las centrales existentes y de las actualmente previstas durante la mayor parte del presente siglo. Los recursos, -supuestos unos precios más elevados de adquisición-, son casi un orden de magnitud mayor. Además existen reservas importantes de torio, otro material que puede también utilizarse en plantas de fisión nuclear, hay otras reservas de uranio de muy baja concentración que requerirían tecnologías especiales y más costosas para su extracción y, adicionalmente, la utilización de reactores rápidos de ciclo cerrado permitiría extender casi indefinidamente las reservas equivalentes de material apto para la fisión nuclear.

WEA-2001, capítulo 6, afirma: “Puede establecerse con confianza la conclusión de que los recursos fósiles son adecuados para cubrir un amplio rango de escenarios hasta 2050 y bastante más allá”.

Las anteriores afirmaciones son notablemente más optimistas que la tesis mantenida en el conocido informe del Club de Roma de 1972, “Los límites del crecimiento”, Meadows, C.D. et al., New York, Universe Books.

²⁴ Ver *Energía: Controlemos nuestra dependencia*, Comisión Europea, 2002, http://europa.eu.int/comm/energy_transport/es/lpi_lv_es1.html.

²⁵ IEA-2001, p. 28 y WEA p. 14 y capítulo 8.

²⁶ IEA-2001, p. 26.

2.2. El impacto ambiental de la producción y consumo de energía.

La existencia de impactos medioambientales antropogénicos en la producción y uso de la energía se ha observado desde hace tiempo. La deforestación de muchas áreas o la contaminación asociada a los procesos industriales son casos bien conocidos. Pero, aunque graves, se trataba de impactos locales. En los últimos cien años los efectos locales han pasado a ser amenazas globales. Es un hecho reciente el reconocimiento de la asociación de la energía con problemas medioambientales de carácter global, que ya afectan la salud humana y la calidad de vida, pero muy particularmente las de las generaciones futuras²⁷.

La utilización de combustibles fósiles, ya sea en pequeñas instalaciones distribuidas, -como es el caso del transporte-, o en grandes instalaciones, -como las que generan electricidad-, lleva asociado un considerable impacto ambiental. Como ya sabemos, estos combustibles proporcionan actualmente el 80% del consumo mundial de energía. La combustión de combustibles fósiles, -en diverso grado según se trate de carbón, petróleo o gas natural, ya que éste último es significativamente menos contaminante-, da origen a emisiones a la atmósfera de óxidos de nitrógeno y dióxido de carbono. Además el carbón y el petróleo dan lugar a óxidos de azufre y partículas en suspensión²⁸. Todas estas sustancias pueden afectar seriamente a la salud de las personas. Tampoco deben ignorarse los impactos que tienen lugar en el proceso de extracción y de transporte de los combustibles. Los efectos sobre el medio ambiente ocurren a escala local²⁹, regional³⁰ y global, aunque aquí examinaremos exclusivamente el impacto global más destacado de la combustión de los combustibles fósiles: el efecto invernadero que da lugar al cambio climático.

El cambio climático ciertamente no es la única amenaza global a la sostenibilidad medioambiental, pero muchos coinciden en identificarle como la más importante. Su magnitud, su com-

²⁷ Ver, por ejemplo, WEA; WEC-2001, pp. 20, 104, 114-124 y 162-164; WWI-2003, pp. 5 y 87-88; *Corporate governance and climate change: Making the connection*, D. G. Cogan, Investor Responsibility Research Center (IRRC), Junio 2003, www.irrc.org, www.ceres.org.

²⁸ En España en 1999 las emisiones procedentes de las grandes instalaciones de combustión existentes, -aquellas cuya potencia térmica es igual o superior a 50 MW y hayan sido autorizadas antes del 1 de julio de 1987-, ascendieron a 271 kt de NO_x y a 1.136 kt de SO₂. El sector eléctrico es responsable del 90% de estas emisiones. Por actividades y respecto de las emisiones totales derivadas de todo tipo de instalaciones y fuentes, grandes y pequeñas, el sector transporte es el más contaminante en NO_x (61,2% del total), seguido por las centrales térmicas (19,7%). En cuanto a las emisiones de SO₂ las centrales térmicas generan casi el 62% del total. En lo que respecta a las emisiones de CO₂, asociadas al cambio climático por causa del efecto invernadero, el primer lugar en España en 1999 lo ocupan las centrales térmicas (31%) y el transporte (26%). Fuente: "Información básica de los sectores de la energía", Comisión Nacional de Energía, CNE, 1999.

²⁹ En el ámbito local se deben destacar los impactos negativos del uso tradicional de biomasa como combustible para cocina y calefacción, única forma de utilización de energía para un tercio de la humanidad. Aunque en general la biomasa contiene pocos contaminantes nocivos, la combustión incompleta en las pequeñas cocinas caseras da lugar a un conjunto de sustancias seriamente perjudiciales para la salud, así como a gases, como el metano, de fuerte efecto invernadero. Se estima en más de dos millones el número de muertes prematuras al año de mujeres y niños en el mundo por esta causa. El empleo de formas avanzadas de energía resolvería este problema, ver WEA-2001.p. 69.

³⁰ La lluvia ácida es, posiblemente, la manifestación más conocida de las actividades energéticas a nivel regional, esto es, superando los cientos de kilómetros de distancia del punto de emisión, aunque, afortunadamente ya se han comenzado aplicar algunos medios para su control. Los óxidos de nitrógeno y de azufre pueden transformarse en ácidos en la atmósfera y se disuelven en el agua de lluvia. La lluvia ácida daña la vegetación, -la cuarta parte de los árboles en los bosques europeos han mostrado pérdidas de follaje significativas-, acidifica los lagos hasta el punto de no poder albergar peces, modifica la composición de los suelos -pudiendo además liberar materiales tóxicos que se pueden incorporar al ciclo alimentario- y daña fachadas de edificios, monumentos y otras superficies expuestas. Una noticia esperanzadora es que las nuevas y más decididas políticas medioambientales de los países más desarrollados, -como consecuencia de los acuerdos internacionales adoptados al respecto-, contribuirán a mantener las emisiones globales de óxidos de azufre aproximadamente constantes entre 1990 y 2020, a pesar del crecimiento esperado del 30% en los países en vías de desarrollo. Este crecimiento podría reducirse sustancialmente si las nuevas centrales previstas se construyesen con los equipos adecuados de desulfuración, si se tratase el carbón previamente a su combustión, o si se fuese sustituyendo progresivamente el carbón por gas natural. Sin embargo las perspectivas son mucho menos optimistas en lo que respecta a los óxidos de nitrógeno, donde la actividad de transporte juega un importante papel. Otro grave problema de ámbito local es el del ozono troposférico (formado principalmente a partir de NO_x en presencia de radiación solar), que puede alcanzar niveles peligrosos para la salud humana en grandes ciudades de climas cálidos y también tiene un impacto negativo sobre la vegetación, ver *Energía, Fiscalidad y Medio Ambiente en España*, Instituto de Estudios Fiscales, Ministerio de Hacienda de España, 2002, capítulo 3.

plejidad y su relación directa con las actividades energéticas hacen del cambio climático un caso paradigmático. La mayor o menor diligencia en la puesta en práctica del Protocolo de Kioto es un excelente indicador del compromiso de la comunidad global, de cada país -e incluso de empresas y comunidades locales-, con el desarrollo sostenible³¹.

¿En qué consiste el efecto invernadero? Determinados gases, -entre los que los más importantes son el vapor de agua, el dióxido de carbono (CO₂), el metano y el óxido nitroso-, actúan de forma semejante al cristal o el plástico en un invernadero: dejan pasar la luz del sol pero retienen parte del calor que la Tierra emitiría, absorbiéndolo y radiándolo de nuevo a la Tierra. El gas de efecto invernadero más importante de origen antropogénico es el CO₂, que se emite en la combustión de combustibles fósiles y de biomasa, lo que produce más CO₂ que cualquier otra actividad humana³².

¿Cuáles son los efectos de estas emisiones? Desde la Revolución Industrial hasta ahora la concentración de CO₂ en la atmósfera ha pasado de 280 ppmv³³ a 360 ppmv y puede llegar a 750 ppmv a final del presente siglo. Las mejores estimaciones disponibles hasta la fecha³⁴ indican que la temperatura media puede aumentar entre 1,5 y 6 grados centígrados para el año 2100. Estabilizar la concentración de CO₂ en la atmósfera a cualquier nivel requeriría cortar las emisiones de CO₂ a la mitad de lo que son ahora, -recordemos que el Protocolo de Kioto sólo pide una tímida reducción del 5,2% respecto al valor de 1990-, y esto tendría que conseguirse en las próximas décadas para que el nivel estable no superase en mucho al actual. Aunque se consiga estabilizar la concentración de CO₂, el aumento de temperatura y la subida de nivel del mar continuarán durante cientos de años. La credibilidad de estas afirmaciones parece fuera de toda duda razonable³⁵.

Tal vez algunos piensen que una subida de la temperatura en la superficie terrestre en unos pocos grados no es para tanto. Los expertos de la ONU y del Consejo Mundial de la Energía nos previenen contra esta actitud de complacencia³⁶. La variación de la temperatura media es sólo una de las muchas manifestaciones del cambio climático, algunas de ellas de potencial carácter catastrófico: patrones de precipitaciones, corrientes marinas y circulación atmosférica, productividad agrícola, ámbito de propagación de animales y de enfermedades, e intensidad y frecuencia de condiciones climáticas extremas. Nótese que un aumento en la temperatura media de, por ejemplo, 3 °C, puede suponer aumentos de más de tres veces este valor en determinadas regiones de la Tierra.

Otras formas de generación de electricidad no están exentas de impactos negativos sobre el medio ambiente, aunque en grados muy diferentes. La generación hidroeléctrica, aunque en general se considera como una de las formas más limpias de producción de electricidad, tiene un significativo impacto ambiental y social³⁷. Otras fuentes de energía renovables también tie-

³¹ España, cuyo compromiso consiste en no aumentar para el periodo 2008-2010 en más del 15% sus emisiones con respecto a las del año 1990, ya ha alcanzado en 2002 un 38% por encima del nivel de 1990. EEUU se ha negado a ratificar el tratado. British Petroleum comenzó un programa piloto de reducción de emisiones de CO₂ ya en el año 1999, con el objetivo de reducir las un 10% sobre las de 1990. Ver *Greenhouse gas emissions trading in BP*, Energy Policy, 31 (2003), pp. 657-663.

³² Las emisiones antropogénicas constituyen una pequeña fracción del total de emisiones producidas, pero modifican el equilibrio natural preexistente del ciclo del CO₂. Desde el comienzo de la Revolución Industrial hasta la fecha unas 300 gigatoneladas de carbono contenido en los combustibles fósiles han sido oxidadas y emitidas a la atmósfera. y las estimaciones actuales indican que, durante el siglo XXI, se puede emitir varias veces esta cantidad. Los recursos energéticos fósiles que antes mencionábamos suponen unas 6500 gigatoneladas de carbono, según la referencia WEA.

³³ La unidad de medida ppmv significa partes por millón en volumen.

³⁴ Informes de los Grupos de Trabajo I, II y III del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático, 2001.

³⁵ La máxima autoridad mundial sobre esta materia, el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático de las Naciones Unidas, compuesto de cerca de 150 expertos de un gran número de países, ha dicho textualmente en su último informe, publicado en 2001: "La mayor parte del calentamiento de la atmósfera observado durante los últimos 50 años, -unos 0,2 °C por década-, es atribuible, con una probabilidad comprendida entre el 66 y el 90%, al aumento en la concentración de CO₂ ... Con una probabilidad entre el 90 y el 99% puede asegurarse que el calentamiento durante el siglo XX ha contribuido significativamente al aumento observado del nivel del mar, -entre 10 y 20 centímetros- ... Las emisiones de CO₂ ocasionadas por la combustión de combustibles fósiles serán, con más del 99% de probabilidad, la influencia dominante en los cambios en la concentración de CO₂ en la atmósfera durante el siglo XXI".

³⁶ WEA p. 89.

³⁷ Estos impactos se ponen de manifiesto en las grandes dificultades que existen actualmente para la construcción de estas centrales, a causa de su elevada intensidad en la utilización del territorio con el consiguiente desplazamiento de

nen algunos impactos medioambientales negativos: la eólica por el impacto sobre el territorio en la fase de montaje, su efecto estético sobre el paisaje y la posible afección a algunas especies de aves, la biomasa por la posible deforestación, y la fotovoltaica por la toxicidad de los productos empleados en la fabricación de los elementos³⁸.

Un caso especial es el de la energía nuclear, cuyo rechazo en amplios sectores de la población de muchos países y sus dificultades económicas han conducido a la práctica paralización de su expansión comercial en la mayoría de estos países, pero que no produce emisiones de gases que contribuyan al cambio climático³⁹. Por otro lado, las reservas de uranio -a partir del cual se fabrica el combustible de las centrales nucleares- son, como las de carbón, amplias y suficientemente distribuidas, con las consiguientes implicaciones favorables sobre la garantía de suministro, la estabilidad de los precios de producción de la electricidad y la distensión geopolítica.

Sin embargo la energía nuclear tiene inconvenientes muy graves, que no han sido resueltos satisfactoriamente. La seguridad de las instalaciones es una clara preocupación del público en general⁴⁰. Otra es el riesgo de utilización bélica de la energía nuclear, facilitada o amparada por la utilización civil⁴¹. La falta de una solución aceptable para los residuos radioactivos de las centrales nucleares es otra gran preocupación, tan importante o más que las anteriores. Los residuos nucleares de alta actividad constituyen una herencia inadmisibles para las generaciones futuras, -por cientos de miles de años-, en contra de toda idea de sostenibilidad⁴².

No se han asignado suficientes recursos a la solución de estos problemas, en coherencia con la gravedad y urgencia de los mismos. La viabilidad económica de la energía nuclear es asimismo cuestionable en el actual entorno de competencia en el sector energético⁴³. Es mi opinión que la opción nuclear no debe formar parte de un planteamiento de desarrollo sostenible,

poblaciones, deterioro de ecosistemas situados aguas abajo, disrupción de acuíferos o degradación de las costas y deltas y también emisiones de CO₂ que pueden ser significativas, ver WEC-2001, p. 104. En promedio las centrales hidroeléctricas son más intensivas en el uso del territorio, -i.e. usan más territorio por unidad de producción de electricidad-, que las plantas fotovoltaicas, pero menos que las plantaciones de biomasa para generación eléctrica-. La superficie total inundada por los embalses actualmente existentes equivale a la superficie de España y la población desplazada por esta causa durante el siglo XX se estima entre 30 y 60 millones de personas.

³⁸ IEA-2001, p. 32 y 72.

³⁹ Éste es sin duda un aspecto muy positivo de la opción nuclear, aunque debe valorarse en sus justos términos, ya que la energía nuclear actualmente sólo se utiliza en la producción de electricidad. De acuerdo con las estimaciones del Consejo Mundial de Energía y de la ONU, para que la energía nuclear pudiese tener una contribución significativa en la reducción de la amenaza de cambio climático, la capacidad instalada de centrales nucleares, -hay actualmente 438 centrales en funcionamiento-, debería al menos multiplicarse por diez durante los próximos cien años. Un razonamiento análogo podría aplicarse a cualquier otra tecnología pero, dada la actual oposición pública a la energía nuclear en muchos países, se trata de visualizar la magnitud de lo que supondría una estrategia de incorporar activamente a la energía nuclear en la solución del problema del cambio climático.

⁴⁰ El accidente de Chernóbil (1986) capta la imaginación popular, y con razón, pues las consecuencias fueron catastróficas. Cierto es que las condiciones de seguridad de esta central estaban muy por debajo de las que se exigen en los países de la OCDE, donde el récord de seguridad ha sido bueno hasta la fecha, aunque no ha estado exento de algunos accidentes serios, pero sin consecuencias para la población.

⁴¹ La comunidad internacional ha realizado importantes esfuerzos para limitar el riesgo de utilización bélica de la energía nuclear, consiguiendo que 187 países hayan firmado el Tratado de No Proliferación Nuclear. Es solamente posible conseguir el material nuclear para construir una bomba de fisión a partir del combustible de determinados tipos de centrales nucleares, y además el actual tratado impone requisitos de vigilancia muy estrictos para los países firmantes. Sin embargo ya hemos visto recientemente cómo determinados países han hecho caso omiso a los compromisos del Tratado. Pero además, ¿qué tratado puede garantizar un comportamiento adecuado de los países durante cientos de miles de años?

⁴² Se trata de encontrar la forma de mantener contenidos, a salvo de escapes al medio externo, los elementos combustibles ya utilizados, durante cientos de miles de años. Hay soluciones transitorias aceptables, como el almacenamiento local en las propias centrales, y propuestas de almacenamiento temporal a más largo plazo, como el enterramiento en contenedores especiales que serían depositados en capas geológicas estables y profundas. Debe advertirse que el problema no desaparece aunque se cierren las plantas actualmente en operación, pues hay ya importantes cantidades acumuladas de residuos de alta actividad. Sobre la posibilidad de aplicación de tecnologías avanzadas, -transmutación-, se comenta en la sección 3.3.

⁴³ En un número creciente de países, -entre ellos todos los de la Unión Europea-, la producción de electricidad por cualquier medio está sujeta a las leyes del libre mercado. Parece difícil que en este contexto económico la iniciativa privada escoja la tecnología nuclear, a la vista de la oposición pública y de la incertidumbre regulatoria respecto a la solución de los graves problemas enunciados. Además, el nuevo contexto regulatorio acrecienta la preocupación sobre la existencia de incentivos económicos de los propietarios de las centrales en detrimento de la seguridad, ya que mantener las plantas en funcionamiento es ahora el único medio de conseguir los ingresos que permiten rentabilizar las cuantiosas inversiones incurridas.

mientras subsistan sus graves problemas, muy en particular el del tratamiento de los residuos⁴⁴.

2.3. Energía para todos⁴⁵

En opinión del Consejo Mundial de la Energía, el primer problema en la sostenibilidad energética es que un tercio de la población mundial, -2000 millones de personas-, no tiene acceso a la energía comercial⁴⁶ ni, por tanto, a los servicios que proporciona: iluminación, cocinado de alimentos, calefacción y refrigeración, telecomunicaciones y energía mecánica para, por ejemplo, el bombeo de agua. La mayoría de estas personas solamente dispone de leña, estiércol y rastrojos como fuente de energía, por lo general haciendo uso de tecnologías primitivas e ineficientes. Como resultado, se consumen los combustibles tradicionales a una velocidad superior a la de regeneración natural, lo que degrada la tierra. De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud, la combustión incompleta de la biomasa en recintos cerrados es causa de que 1500 millones de personas estén expuestas a una atmósfera insalubre y puedan contraer graves enfermedades respiratorias, a las que la OMS atribuye 2,5 millones de muertes anuales prematuras de mujeres y niños⁴⁷. El uso de propano o gas natural reduciría este valor en cien veces⁴⁸. Por otra parte, sin acceso a formas modernas de energía las personas, -en su mayor parte mujeres y niños-, tienen que emplear mucho tiempo y esfuerzo en tareas básicas de subsistencia, como recoger leña y acarrear agua, lo que interfiere gravemente con sus posibilidades de educación y de realizar un trabajo productivo.

Las desigualdades en los patrones de consumo energético mundial son escandalosas. Mientras que los mil millones de habitantes más pobres tienen un consumo energético de solamente 0,2 toneladas equivalentes de petróleo por persona y año, los mil millones más ricos consumen 25 veces más⁴⁹.

¿Cuál es la magnitud del esfuerzo técnico y económico necesario para proporcionar un acceso básico a la energía comercial al tercio de la humanidad que carece de ella? Obviamente, el proceso habría de tener lugar de forma gradual y el uso tradicional de biomasa debiera continuar tal vez por mucho tiempo, -aunque mejorando las tecnologías de utilización y reduciendo la intensidad para que sea sostenible-. En una primera aproximación puede estimarse que la demanda básica de energía a suministrar por persona es de unos 500 kWh anuales⁵⁰, lo que supondría unos 1000 TWh para los 2000 millones de personas, esto es, menos de un 0.9% de la demanda mundial de energía en el año 2000 y apenas un 7% de la de electricidad. Una estimación grosera del coste anual, -supuesto que se suministrase inmediatamente en su totalidad y con tecnologías convencionales-, indica que no excedería el 0.2% del Producto Interior Bruto de los países de la OCDE⁵¹.

Un acceso universal y más igualitario a las formas modernas de energía tendría implicaciones de muy largo alcance. La energía es un instrumento esencial para poder conseguir una vida digna para la persona en el siglo XXI. Aunque el acceso a formas avanzadas de energía no es una necesidad humana *per se*, es crítico para la satisfacción de necesidades básicas tales como la nutrición, el cobijo y la iluminación y ofrece la posibilidad de emplear la energía para

⁴⁴ *Luces y sombras en la energía nuclear y el desarrollo sostenible*, Grupo de Reflexión sobre Energía y Desarrollo Sostenible, publicado en Cinco Días, 17-7-2002.

⁴⁵ Un excelente documento de referencia es *A framework for action in energy*, Naciones Unidas, WEHAB (Water, Energy, Health, Agriculture and Biodiversity) Working Group, Agosto 2002, que fue elaborado por la ONU en preparación de la Conferencia Mundial de Johannesburgo sobre Desarrollo Sostenible en septiembre 2002. También puede consultarse el capítulo 13, *Energía y pobreza*, de IEA-2002.

⁴⁶ WEC-2001, p. 49.

⁴⁷ *The Challenge of rural energy poverty in developing countries*, World Energy Council, October 1999, sección 1.4.2.

⁴⁸ IEA-2002, p. 368.

⁴⁹ *A framework for action in energy*, Naciones Unidas, WEHAB (Water, Energy, Health, Agriculture and Biodiversity) Working Group, Agosto 2002.

⁵⁰ WEC-2001, p. 186; *The Challenge of rural energy poverty in developing countries*, World Energy Council, October 1999. Ver también IEA-2002, capítulo 13; *Final report*, G8-Renewable Energy Task Force, July 2000; *Power to tackle poverty*, Greenpeace, November 2001, www.greenpeace.es.

⁵¹ Elaboración propia.

usos productivos que permitan a estas personas escapar del ciclo de la pobreza⁵². La falta de energía aparece fuertemente correlacionada con muchos indicadores de pobreza, tales como la falta de educación escolar o una inadecuada asistencia sanitaria.

Dice el Consejo Mundial de la Energía, en su Mensaje para 2002⁵³, que “para el desarrollo sostenible, la armonía y la paz mundial es clave que todos los seres humanos tengan acceso a servicios energéticos modernos ... El comercio y la tecnología, ligados a la disponibilidad y a la aceptabilidad de la energía, son los propulsores del crecimiento económico, requisito previo para hacer frente a la pobreza y facilitar el acceso a la energía. Si se actúa desde ahora para lograr estos objetivos se contribuirá a reducir las tensiones existentes y a favorecer una mayor armonía en el mundo”.

3. Hacia la sostenibilidad energética.

En su informe “Living in one world”, el Consejo Mundial de la Energía (CME) describe lo que podría ser la situación del mundo en el año 2050 si persistiese la actual falta de liderazgo y voluntad política para hacer frente a los grandes desafíos de la Humanidad en materia de energía, agua, sanidad, contaminantes químicos y reducción de la pobreza, y por una concentración de los esfuerzos exclusivamente en intereses estrechos y cortoplacistas. El escenario que nos muestra el CME está gravemente deteriorado en sólo 50 años, caracterizado por un escaso crecimiento de la población mundial –asediada por el hambre y las enfermedades en las tres cuartas partes que habitarían los países empobrecidos-, una agricultura limitada por las sequías, la salinidad y la contaminación química del agua, un aumento espectacular en el volumen del transporte privado al extenderse gradualmente el modelo de los países desarrollados al resto del mundo, un fracaso por falta de apoyo real en el desarrollo de las fuentes renovables de energía en los países en desarrollo con el consiguiente aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero y de la lluvia ácida, una industria nuclear que no ha resuelto sus problemas y sigue sin ser aceptada por la opinión pública, un cambio climático fuera de control por falta de acuerdo en aplicar las drásticas medidas que hubiesen sido necesarias pero que hubiesen afectado en el corto plazo a la economía o al estilo de vida y un clima de asedio y de inseguridad ciudadana en los países desarrollados que tratarían de limitar por cualquier medio el movimiento migratorio del resto de la población mundial.

Pero el Consejo Mundial de la Energía presenta también la alternativa opuesta⁵⁴, que se apoya en las oportunidades tecnológicas disponibles y en la posibilidad de un liderazgo correctamente dirigido a resolver los verdaderos problemas existentes. Existen también, en efecto, motivos de peso para el optimismo: hay reservas y recursos energéticos suficientes para permitir un cierto periodo de reflexión sobre las mejores opciones, el potencial de las fuentes renovables de energía es muy grande, hay un amplio margen para aumentar la eficiencia de los procesos y ahorrar energía, hay muchas innovaciones tecnológicas todavía insuficientemente exploradas que pueden reducir o compensar los impactos ambientales y se advierte una mayor concienciación respecto al problema energético en los individuos, las empresas y las instituciones.

Al igual que el problema, las líneas de actuación para solucionarlo son complejas y tienen múltiples niveles: desde el puramente personal, pasando por el de las empresas e instituciones, hasta el de los Gobiernos y grandes organizaciones internacionales. Afortunadamente, en el terreno de los principios existe ya un nivel suficiente de consenso sobre las líneas más apropiadas de actuación, a los niveles máximos de las instituciones mundiales⁵⁵. Obviamente, una cosa son las declaraciones de principios y otra las actuaciones concretas pero, sin duda, se va

⁵² Ver *The Challenge of rural energy poverty in developing countries*, World Energy Council, October 1999, y PNUD-2003, p. 126.

⁵³ *Energía para todos, energía para la Paz*, Mensaje del Consejo Mundial de la Energía para 2002., Octubre 2001, www.worldenergy.org.

⁵⁴ WEC-2001, capítulo 7.

⁵⁵ Se puede citar, como ejemplo, el documento de conclusiones de la Cumbre de Johannesburgo que ratifica las conclusiones de la Cumbre de Río de 1992 y comienza declarando: “Reconocemos que la erradicación de la pobreza, la lucha contra el hambre, el cambio de los patrones insostenibles de producción y consumo, la protección y gestión de los recursos naturales para una vida sostenible y el desarrollo económico y social son los mayores objetivos y los requerimientos esenciales para el desarrollo sostenible”.

consiguiendo una coincidencia básica respecto a las grandes líneas de actuación que se deben adoptar para conseguir la sostenibilidad energética y que serían las siguientes⁵⁶:

- a) Reconocimiento de que el sendero actual de desarrollo energético no es sostenible.
- b) Admisión del gravísimo problema que supone el que un tercio de la humanidad no tiene acceso a formas avanzadas de energía, lo que debe abordarse con soluciones específicas impulsadas por los países desarrollados, quienes han llevado al planeta a la actual situación de insostenibilidad y se han beneficiado de ello. Estas soluciones deben incluir el desarrollo de sistemas descentralizados adaptados a las situaciones concretas, el uso de tecnologías apropiadas –que posiblemente debieran incluir un elevado porcentaje de renovables-, fórmulas innovadoras de financiación y participación local en la toma de decisiones.
- c) Reconocimiento de la urgencia del problema. Dada la gran inercia de los sistemas energéticos, a causa de la larga vida económica y elevado coste de las instalaciones y de la dificultad en cambiar los hábitos de consumo, el momento de actuar es ahora⁵⁷.
- d) Identificación de las grandes líneas de actuación que debe integrar una propuesta concreta de solución y que pueden compendiarse en las cinco siguientes: La mejora de los patrones de consumo y la eficiencia energética, la contribución de las fuentes renovables de energía, la investigación y desarrollo de tecnologías energéticas avanzadas, la adopción de adecuadas medidas económicas y regulatorias y, sobre todo, la educación, que permita internalizar lo anterior en las actitudes de las personas.

Vamos a examinar a continuación brevemente qué potencial encierra cada una de estas líneas de actuación y también qué papel pueden desempeñar los ingenieros en algunas de estas tareas.

3.1. Patrones de consumo y ahorro energético

Comencemos con una reflexión de Federico Mayor Zaragoza en su libro “Los nudos gordianos”⁵⁸: “Resulta imprescindible oponer, al espejismo de que es posible aumentar indefinidamente el consumo, el concepto de desarrollo integral, duradero y respetuoso con el medio ambiente ... El reordenamiento de las prioridades de nuestra sociedad ha de desembocar, forzosamente, en la frugalidad y la disciplina ecológica. En las décadas por venir, el concepto de calidad de vida estará cada vez más vinculado a la austeridad y a la responsabilidad hacia el entorno.”

Lo primero que debemos preguntarnos es si el ahorro energético tiene verdaderamente potencial para contribuir de forma significativa al desarrollo sostenible. La respuesta es claramente

⁵⁶ Libro Verde UE; WEA p. 18 a 26; GEO 2000; IEA p. 62 y 233 a 239; *Warning to Humanity*, Union of Concerned Scientists; www.ucsusa.org; *Energy for tomorrow's world: acting now* y *Mensaje del CME para 2002*, World Energy Council, www.worldenergy.org; WWI-2003, pp. xvi a xviii.

El Libro Verde de la Comisión Europea pone el énfasis del planteamiento de líneas de actuación en las energías renovables -incluidos los biocarburantes- por el lado de la oferta y, por el lado de la demanda, en las políticas de ahorro y eficiencia energética. Entre ellas de un modo especial, el cambio en los modos de transporte y el ahorro energético en los edificios. El Libro Verde preconiza un auténtico cambio de hábitos de los consumidores y pone de manifiesto el interés del instrumento fiscal para orientar la demanda hacia consumos más controlados y respetuosos con el medio ambiente.

El Consejo Mundial de la Energía propuso en 2002 el siguiente Programa de trabajo:

- Suministrar energía comercial a los dos mil millones de personas que carecen de ella.
- Desarrollar políticas comerciales estables a escala regional, marcos legales transparentes y regulaciones que propicien el desarrollo energético.
- Mantener abiertas todas las opciones energéticas, incluido el uso seguro de la energía nuclear y la promoción de las energías renovables.
- Aumentar la eficiencia mediante la competencia y la difusión de la tecnología.
- Implantar, a escala mundial, tecnologías avanzadas más limpias para reducir el impacto de las emisiones debidas a la actividad humana sobre la calidad de vida y el entorno natural.

⁵⁷ WEA, p. 23.

⁵⁸ Federico Mayor Zaragoza, “Los nudos gordianos”, Galaxia Gutemberg, 1999.

afirmativa. En su *Informe mundial de la energía* la ONU y el Consejo Mundial de la Energía han puesto de manifiesto que, a pesar de las mejoras que ha experimentado la eficiencia energética⁵⁹, particularmente en los países más desarrollados, todavía queda un amplio margen para lograr una reducción adicional de la energía consumida por unidad de producto interior bruto. Se estima en un 30% la energía que por término medio se malgasta por el uso ineficiente en casas, edificios, empresas y vehículos. La cantidad de energía primaria requerida para un servicio dado puede ser reducida, en forma rentable, entre un 25 y un 35% en los países industrializados. El ahorro puede llegar al 45% en los países menos desarrollados⁶⁰.

El modelo vigente de desarrollo y consumo, -tanto el derroche energético de los ricos como los patrones de consumo de los más desfavorecidos-, genera contaminación y destrucción que terminan por traducirse en pobreza, pobreza que a su vez contamina y destruye. Este es el triángulo vicioso: consumo – contaminación – pobreza. Se trata de un complejo entramado de

⁵⁹ Es evidente que la cantidad de energía que se necesitará en el futuro dependerá críticamente de la eficiencia con la que se produzca y utilice. Con el fin de poder evaluar la evolución de la eficiencia energética se puede emplear como indicador la intensidad energética, es decir, el consumo de energía por unidad de producto interior bruto en cada país. Puede observarse a lo largo del tiempo una tendencia general hacia una reducción en la intensidad energética con el aumento del desarrollo económico. Para comprender mejor la situación actual y el impacto de la energía en la economía hay que analizar lo sucedido desde 1973. Se incluye a continuación una reseña histórica sobre la evolución de los índices de eficiencia energética en este periodo, para la que puede consultarse el documento “Consumo de energía y crecimiento económico” del Club Español de la Energía y de la Comisión Nacional de Energía, pp. 21 a 27, 37 a 39 y 70 a 73.

Entre 1972 y 1985, el periodo de mayor interés para comprender la situación actual, la demanda del conjunto de países de la OCDE creció en torno a un 5 % en tanto que el producto interior bruto lo hizo en casi un 20%, con la consiguiente reducción significativa en la intensidad energética, que obedeció especialmente al fuerte incremento de los precios en origen del petróleo, primero en 1973-74 y posteriormente en 1979-80.

Después de 1985 y hasta los primeros años de la década de los 90, la estabilidad de los mercados internacionales del crudo y las mejoras ya obtenidas en la eficiencia energética relajaron la preocupación por esta última, que continuó mejorando, aunque con un ritmo inferior al del periodo precedente. Durante este periodo de estabilidad y precios bajos del petróleo, tanto la opinión pública como las distintas organizaciones energéticas nacionales e internacionales, no dejaron de insistir en el interés de mantener la senda decreciente de la intensidad energética, por distintas razones: disminuir la dependencia del petróleo y de la OPEP, un clima general favorable a la eficiencia económica e industrial y, en especial a partir de los años 90, una creciente preocupación por el medio ambiente y un clima de mayor competencia en muchos sectores industriales. A lo anterior ha cooperado, en los países de la OCDE, un cierto desplazamiento de algunas industrias intensivas en energía a países menos desarrollados.

Como consecuencia de todo lo anterior, entre 1971 y 1998, el ratio entre el incremento del consumo final de energía y el incremento del producto interior bruto en los principales países de la OCDE fue muy inferior a la unidad, con valores situados alrededor de 0,5 en Japón, Francia e Italia, y por debajo del 0,2 en Alemania, Reino Unido y EEUU, mientras que en España el ratio fue de 1,22. En 1998 el conjunto de los países de la OCDE consumía por unidad de PIB (medido en dólares constantes de 1990) un 28% menos de energía que en 1972. Por el contrario España consumía casi el 26% más.

Según la Agencia Internacional de la Energía, este comportamiento ha obedecido en parte al efecto directo de la respuesta a los precios del consumo de energía y también al efecto indirecto de los precios a través de las mejoras en el rendimiento energético debidas a los cambios técnicos, especialmente en el transporte y la industria. Otra de las razones es asimismo la influencia, más autónoma, lenta y estructural, de los cambios en la composición de la oferta productiva, particularmente de la producción industrial.

Los análisis del impacto de las subidas de precios en los años 70 y principio de los 80 han mostrado que, en los países de la OCDE, la elasticidad de la demanda al precio era próxima al 0,5, esto es, un aumento de los precios del 10% se traducía en una reducción de la demanda de en torno al 5%. Estos mismos análisis muestran que los efectos de los precios sobre la intensidad energética se producen y prolongan durante periodos largos, de unos 10 ó 12 años. Recientemente las tensiones en los mercados mundiales del crudo han recordado al mundo que los precios en origen pueden volver a comportarse al alza y que, en consecuencia, no se debería relajar la atención sobre el comportamiento de la intensidad energética, ni poner dificultades para que los precios finales reflejen los costes de las energías primarias, de las fases y actividades de producción de cada vector energético y de los medioambientales.

⁶⁰ Ver datos concretos sobre potencial de ahorro en *Energía: Reduzcamos nuestra dependencia*. Comisión Europea, 2002. El impacto que el ahorro energético puede tener sobre el crecimiento acumulado de la demanda de energía es enorme. Si la economía mundial creciese con el ritmo medio estimado de un 2,7% anual, y teniendo en cuenta las mejoras esperadas en intensidad energética que permiten prever que el consumo energético mundial crecerá aproximadamente como media un 1,8% por año, en el año 2020 la demanda será un 50% más alta que en 1998. Sin embargo, si las mejoras previstas en eficiencia no se materializasen, el aumento sería del 90%. Ver WEA, p. 27.

relaciones, no siempre evidentes, en el que ciertos fenómenos son causa y efecto a la vez y donde ningún elemento puede considerarse aislado⁶¹.

Examinemos un momento la idea que sobre desarrollo y bienestar predomina en muchos individuos y en las políticas económicas predominantes en los países más avanzados. Esta idea descansa sobre tres puntos básicos:

- Desarrollo es esto que hemos alcanzado en los países industrializados.
- Es una meta posible para todos los países.
- Alcanzar esta meta es sólo cuestión de tiempo.

El modelo es la metáfora del tren, cuanto más avanza la cabeza más avanza el furgón de cola. El problema es que este modelo de desarrollo no es sostenible ni medioambientalmente, -como acabamos de ver-, ni tampoco socialmente.

El modelo energético de aumento del consumo de energía y de hidrocarburos que ha sido adoptado por los países más desarrollados nos está conduciendo a un callejón sin salida. Pero éste es también el modelo al que aspiran legítimamente los países pobres para su desarrollo, lo que agravaría el problema global de sostenibilidad, en particular en lo referente al cambio climático. Reflexionemos sobre el hecho de que el 92% de la población mundial no tiene coche. Y que mientras en los EEUU y en la Unión Europea hay un coche por cada 1,8 y 2,8 habitantes respectivamente, en África la proporción es de un coche por 110 habitantes y en China de uno por cada 1375 habitantes. La contribución del transporte al crecimiento del CO₂ en los países de la OCDE es aproximadamente de un 33%⁶², además de su importante contribución a las emisiones contaminantes. Claramente nuestro modelo de desarrollo del transporte no es sostenible⁶³. El estándar de los EEUU y de la Unión Europea no nos sirve como referencia global. Hay un enorme trecho por recorrer en el aumento de la eficiencia del parque automovilístico, en el desarrollo de otros medios de reducción de sus emisiones contaminantes, en que el precio de los combustibles refleje los costes medioambientales incurridos, en la producción y utilización de combustibles renovables y en la modificación sustancial de los patrones actuales de utilización de los medios de transporte.

La gran dificultad a la que se enfrenta una estrategia de ahorro energético es que implica una verdadera *transición cultural*, con los consiguientes cambios de organización y comportamiento⁶⁴. Un modelo de desarrollo economicista, en el que se equipara el bienestar con el crecimiento del PIB, supone una visión demasiado chata del progreso, que esconde enormes desequilibrios ambientales y sociales. En España, -como en muchos otros países-, el que haya mucha o poca luz, -en las calles, casas y comercios-, está todavía asociado a riqueza o a pobreza. El derroche de luz es un símbolo de estatus social. Igual ocurre con el transporte privado, el aire acondicionado o la tendencia a vivir en urbanizaciones. En cambio, el ahorro es un concepto negativo, asociado a penurias económicas y contrario a la lógica interna de la sociedad de consumo⁶⁵.

⁶¹ Caballero, A., “Un triángulo muy viciado: consumo, pobreza y deterioro ambiental”, Folletos Informativos de Manos Unidas, Julio 1997.

⁶² IEA, p. 151.

⁶³ Dice la Agencia Internacional de la Energía en su libro “Toward a sustainable energy future”, OECD, 2001, p. 151-172: “Bajo casi cualquier medida que se utilice, las tendencias del transporte en el uso de energía y en la emisión de gases de efecto invernadero están actualmente en una senda insostenible ... Estas tendencias son estables, no muestran signos de saturación en términos de pasajeros x Km. per capita y no parece probable que cambien en los próximos años sin nuevas y sustanciales iniciativas políticas ... Una de las mayores preocupaciones a largo plazo con el transporte es su casi total dependencia del petróleo ... Se estima que durante las dos próximas décadas la demanda de energía para el transporte crezca a un 2,4%, -más rápido que cualquier otro sector de consumo final-, y que para 2020 el transporte utilice el 50% de la demanda mundial de petróleo y contribuya el 25% de las emisiones de CO₂ ... Cuanto más esperen los países a “descarbonizar” este sector, más probable es que la transición tenga que ocurrir más bruscamente y con un coste mayor.”

⁶⁴ Los conceptos y parte del texto que viene a continuación están tomados del artículo *Un Plan de Ahorro Energético para España*, del Grupo de Reflexión sobre Energía y Desarrollo Sostenible (del que el autor forma parte), publicado en El País, Economía, viernes 14 de febrero de 2003.

⁶⁵ En CNE / ENERCLUB el Club Español de la Energía y la Comisión Nacional de la Energía afirman que “la intensidad energética en la economía española persiste en su tendencia hacia el crecimiento, en un movimiento de sentido contrario al de los países mayores entre los más próximos, lo que obedece a una cierta brecha de desarrollo y bienestar que se reduce gradualmente, pero también hay que hablar de una menor sensibilidad de nuestro sistema económi-

Lo primero que se debería intentar en la estrategia a plantear es romper esas asociaciones y crear otras identidades de estatus social, que permitan a los individuos una identificación cultural nueva, en la que tengan cabida los conceptos de solidaridad generacional e intergeneracional y de respeto al medio ambiente, de forma que el concepto de calidad de vida esté cada vez más vinculado al consumo responsable y al respeto por el entorno. Entonces el ahorro energético no sólo no sería cosa de pobres y de sociedades atrasadas, sino todo lo contrario, sería el símbolo de excelencia, de modernidad y desarrollo, de la democracia y de los valores positivos de la sociedad, de forma que conseguirlo sería motivo de orgullo⁶⁶.

Estos nuevos valores son condición necesaria, pero no suficiente, para un cambio de comportamiento social. El ahorro energético, en el modo y medida que va a ser necesario, va a comportar un gran esfuerzo. Para que estos nuevos valores se conviertan en comportamientos, se requiere una política pública que comprenda tanto el facilitar alternativas viables (como un adecuado transporte público), como el establecimiento de normas (como las de eficiencia mínima en edificación) y señales económicas adecuadas (como las ecotasas), además de llevar a cabo una estrategia continuada de comunicación y de formación, pues algunos de estos cambios pueden requerir plazos generacionales⁶⁷.

3.2. Las fuentes renovables de energía⁶⁸

Afirma la Agencia Internacional de la Energía que “el mundo está en las fases iniciales de una transición inevitable hacia un sistema energéticamente sostenible que dependerá fundamentalmente de los recursos renovables”⁶⁹. Sin embargo parece que gran parte de la opinión pública piensa que las fuentes renovables de energía, -como la eólica, solar, o biomasa-, pueden solamente jugar un papel menor en la solución al problema de la sostenibilidad energética, ya que no tienen la capacidad suficiente para convertirse en el factor principal. ¿Cuál es realmente la situación?

Aunque el suministro de energías renovables está creciendo rápidamente⁷⁰, parte de un nivel muy bajo, de forma que la participación de las energías renovables modernas, incluyendo las grandes centrales hidroeléctricas, ha permanecido estabilizada alrededor del 4% del suministro total de las energías primarias⁷¹.

Sin embargo, las energías renovables tienen un potencial muy considerable y podrían, teóricamente, proveer un suministro casi ilimitado de energía relativamente limpia a escala local⁷². Las estimaciones cuantitativas de este potencial difieren considerablemente, pues dependen en gran medida de futuros desarrollos tecnológicos que permitan reducir los costes y mejorar el aprovechamiento energético. Pero según el documento *World Energy Assessment* de las Na-

co y social a este tipo de problemas.” Así, durante la última década, con una población prácticamente estabilizada, hemos incrementado un 38% el consumo de energía y un 45% el parque de automóviles.

⁶⁶ *Algunas notas sobre una cultura del ahorro energético*, Mercedes Pardo, Universidad Pública de Navarra, comunicación personal. Ver también el artículo *Un Plan de Ahorro Energético para España*, del Grupo de Reflexión sobre Energía y Desarrollo Sostenible, publicado en *El País*, Economía, viernes 14 de febrero de 2003.

⁶⁷ En España el punto de partida no es muy favorable, ya que nuestra trayectoria en lo referente a ahorro energético ha sido más bien pobre. Lo anterior concuerda con la ausencia de una política pública de fomento del ahorro energético. Así, se ha suspendido desde hace varios años la financiación del programa de gestión de la demanda eléctrica que establece la Ley del Sector Eléctrico. Se han excedido ya en más de un 38% las emisiones de CO₂ del año 1990, cuando el compromiso de España es no sobrepasar el 15% en el año 2010 y, hasta la fecha de escribir este texto, todavía no existe un plan de actuación sobre el cambio climático ni se ha recuperado el anterior Plan de Ahorro y Eficiencia Energética, que finalizó en el año 2000.

⁶⁸ Véase por ejemplo WEA capítulo 7; CNE / ENERCLUB capítulo 7; *Las energías renovables: un enfoque político-ecológico*, Emilio Menéndez Pérez, Los libros de la catarata, 1997; *Mensaje del Consejo Mundial de la Energía para 2003: Cuotas de la energía renovable*, www.worldenergy.org; *Medio ambiente y desarrollo sostenido*, Julio Montes, Selecta Technologica, Universidad Pontificia Comillas, 2001; *Generación eléctrica distribuida*, Comité de Energía y Recursos Naturales del Instituto de la Ingeniería de España y Fundación Gas Natural, junio 2003; *Las energías renovables: Su papel en la cooperación y en la elaboración de un modelo de desarrollo sostenible*, Xavier García Casals, Ingenieros sin Fronteras, 1995.

⁶⁹ *The evolving renewable energy market*, International Energy Agency (IEA), Paris, 1999, p. v.

⁷⁰ El crecimiento anual de la energía eólica, por ejemplo, ha sido estos años de alrededor del 30%.

⁷¹ *Mensaje del Consejo Mundial de la Energía para 2003: Cuotas de la energía renovable*, www.worldenergy.org.

⁷² *Ibíd.*

ciones Unidas⁷³, que para muchos es la referencia más autorizada en la valoración de la actual situación energética, el potencial conjunto esperable de las energías renovables es más de 18 veces superior al consumo energético mundial en el año 2000, siendo la de mayor potencial la geotérmica (unas 12 veces), seguida de la solar (4 veces), eólica (1,5 veces), biomasa (0.6 veces) e hidroeléctrica (0,1 veces), dejando sin cuantificar el potencial de la energía de los océanos⁷⁴.

¿Por qué entonces este gran potencial no se traduce en una mayor participación en el suministro energético global? El motivo es que sus costes de producción son en general todavía demasiado altos para ser competitivos con los de las fuentes de producción tradicionales, dados los actuales precios de la energía, que no incluyen la valoración económica del impacto ambiental. Se necesita internalizar plenamente en los precios los costes medioambientales, -que no son en absoluto despreciables⁷⁵-, para que la viabilidad económica de estas tecnologías se reconozca.

⁷³ WEA, capítulo 5. Ver también WEC-2001 p. 164-168; WETO-2003; IEA-2002; WWI-2003, p. 92-94 y 108, con unas estimaciones optimistas; *Economía solar global*, H. Scheer, Galaxia Gutenberg, 2000, capítulo 6.

⁷⁴ El potencial de desarrollo **hidroeléctrico** adicional en los países más desarrollados es ya muy limitado, pero a nivel mundial este potencial con viabilidad económica se estima en cerca de 6 veces la producción actual, que suministra cerca del 20% de la demanda mundial de electricidad. Sin embargo no hay que subestimar las grandes dificultades, -ya indicadas-, que existen para la construcción de estas centrales.

La contribución de la **biomasa**, -leña, residuos agrícolas, ganaderos y urbanos-, al consumo mundial de energía se limita actualmente a su utilización tradicional como combustible, sobre todo en los países menos desarrollados. Sin embargo, las tecnologías avanzadas de explotación de la biomasa, -como gasificación, fermentación y digestión anaeróbica-, están aumentando la importancia de su función como fuente sostenible de energía como combustible líquido o en la producción de electricidad. Cuando la biomasa se cultiva para ser quemada, las emisiones netas de CO₂ en el proceso completo son nulas. El desafío actual con la biomasa es precisamente la gestión de su sostenibilidad. El potencial teórico de la producción de energía con biomasa para el año 2050 es aproximadamente 10 veces la producción actual, lo que bastaría para satisfacer las presentes necesidades mundiales de energía. Sin embargo hay una serie de factores que limitan este potencial, entre los que destaca muy especialmente la disponibilidad de agua.

Las estimaciones del potencial práctico de la energía **solar** dependen críticamente de la tecnología que se utilice para su aprovechamiento y oscilan entre 4 veces y más de 100 veces el consumo energético mundial actual. Las tecnologías de utilización más prometedoras son el calor solar de baja temperatura, -típicamente para uso residencial-, las plantas solares de alta temperatura para generación de electricidad -una tecnología probada que todavía necesita un moderado apoyo para ser viable comercialmente, dados su presente nivel de desarrollo y los actuales precios de la electricidad-, y la generación fotovoltaica de electricidad, que necesita subsidios sustancialmente mayores que faciliten su desarrollo tecnológico y su futura viabilidad comercial en competencia con tecnologías convencionales, ya que para consumos aislados y dispersos puede ya ser en muchos casos la mejor opción.

El potencial de producción de electricidad con energía **eólica** se estima como superior al 150% del presente consumo de energía mundial. Esta estimación supone que se utiliza para este fin un 1% de la superficie total de la tierra firme, ver WEA. Se trata de una tecnología renovable muy cercana a la viabilidad comercial con los precios actuales de la electricidad en un gran número de emplazamientos. Las innovaciones tecnológicas, -tales como aumentar el tamaño y potencia de los aerogeneradores o el instalarlos en el mar-, pueden aumentar el potencial estimado, ver WWI-2003, pp. 92 y 108.

La energía **geotérmica**, esto es, el calor almacenado en la Tierra, tiene un potencial enorme. Como promedio la temperatura de la Tierra aumenta unos 3 grados cada 100 metros de profundidad. La energía geotérmica puede estar almacenada en agua caliente o vapor a presión, en agua caliente a presión que contiene metano disuelto, en las rocas calientes y en el magma o rocas fundidas. Incluso la fracción más fácilmente accesible de la energía geotérmica excede el consumo mundial anual de energía. Debe distinguirse entre emplazamientos en lugares muy específicos, con altas temperaturas aptas para la producción de electricidad, y la gran dispersión de localizaciones donde es posible la utilización directa a bajas temperaturas. Los océanos pueden verse también como una interesante fuente de energía, -como la contenida en las olas y en las mareas-, pero que también es de naturaleza muy dispersa, como el viento y la energía solar.

⁷⁵ Ver, por ejemplo, WWI-2003, p. 89, que da los siguientes valores como representativos de los costes de generación habituales y de los costes adicionales medioambientales (bajo determinados supuestos, que deben consultarse) para diferentes tecnologías. Todos los valores se expresan en céntimos de \$US/kWh. El primer valor es el coste habitual de producción y el segundo (entre paréntesis) el de la externalidad medioambiental: carbón 4,3-4,8 (2-15); gas natural 3,4-5,0 (1-4); nuclear 10-14 (0,2-0,7); biomasa 7-9 (1-3); hidroelectricidad 2,4-7,7 (0-1); fotovoltaica 25-50 (0,6); eólica 4-6 (0,05-0,25). El interés de esta cita es el permitir una primera valoración de la magnitud que se estima que tienen los costes medioambientales. Pueden citarse otras referencias con valoraciones significativamente distintas de los costes de producción.

Un aspecto muy positivo de las fuentes renovables de energía es su amplia dispersión geográfica, favoreciendo además posiblemente a aquellas regiones del planeta donde se encuentran los países menos desarrollados. Ya hemos indicado que un problema añadido de los recursos de petróleo y de gas natural es su localización concentrada en unos pocos emplazamientos. Basta con seguir superficialmente los acontecimientos internacionales, -recientes y pasados-, para darse cuenta de la relación entre la disponibilidad de estos recursos, los conflictos bélicos y los posicionamientos políticos de los países dominantes. No resulta alentador pensar cuál será la situación mundial cuando algunos de estos recursos comiencen realmente a escasear. Una economía global que descansa de una manera importante sobre las fuentes de energía renovables será sin duda mucho más segura.

Decía Miguel Delibes en su discurso de ingreso en la Real Academia Española, pronunciado el 25 de mayo de 1975⁷⁶, que “el verdadero progresismo no estriba en un desarrollo ilimitado y competitivo, ni en fabricar cada día más cosas, ni en inventar necesidades al hombre, ni en destruir la Naturaleza, ni en sostener un tercio de la Humanidad en el delirio del despilfarro mientras los otros dos tercios se mueren de hambre, sino en racionalizar la utilización de la técnica, facilitar el acceso de toda la comunidad a lo necesario, revitalizar los valores humanos, hoy en crisis, y restablecer las relaciones hombre-naturaleza en un plano de concordia”.

BIBLIOTECA EN ENERGIA Y DESARROLLO SOSTENIBLE
www.energiasur.com
CLAES – Centro Latino Americano de Ecología Social

⁷⁶ *El mundo en la agonía*, Círculo de Lectores, Madrid, 1988.