

ENERGIA Y DESARROLLO SOSTENIBLE

Sr. Presidente de la Real Academia de Ingeniería.

Sres. Académicos.

Señoras y señores.

La caída de un rayo en una tormenta de verano, el funcionamiento de un horno microondas doméstico, la orientación Norte-Sur de la aguja imantada de una brújula, la recepción y emisión de señal en un teléfono móvil, la transformación energética que tiene lugar en una gran central hidroeléctrica y el transporte de la energía resultante hasta proporcionar la luz que ilumina esta sala, son todos ellos fenómenos electromagnéticos, que pueden describirse de forma maravillosamente compacta en cuatro ecuaciones diferenciales que James Clerk Maxwell formuló por primera vez en 1865 en su libro *A treatise on electricity and magnetism*.

La belleza de esta formulación me cautivó cuando por primera vez fui capaz de entenderla, durante el segundo año de mi carrera de ingeniero en el Instituto Católico de Artes e Industrias (ICAI) de Madrid. Desde entonces la electricidad ha sido el hilo conductor que ha guiado mi trayectoria profesional. Descubrí mi afición por la enseñanza cuando un año más tarde daba clases informales de electromagnetismo a compañeros de carrera de cursos inferiores. Esto condujo a mi nombramiento como profesor ayudante de la asignatura al curso siguiente, a que decidiera quedarme en la Universidad al término de mis estudios y a comenzar a escribir un libro de texto como apoyo a las clases.

Unos años más tarde obtuve una beca del Instituto Tecnológico de Postgraduados para realizar estudios de doctorado en el Instituto Tecnológico de Massachussets, EEUU, donde tuve el privilegio de aprender sobre la interacción entre los campos electromagnéticos y los medios continuos con el Profesor James Melcher. A pesar del atractivo que tenía para mí este tema de investigación, decidí realizar un primer cambio de rumbo, motivado fundamentalmente por las mayores expectativas de continuar investigando tras mi eventual regreso a España.

Dejé el electromagnetismo básico por una de sus principales aplicaciones: los grandes sistemas de energía eléctrica. Con el Profesor Fred Schweppe aprendí a representar y analizar el comportamiento dinámico de los grandes sistemas eléctricos interconectados, tratando de contro-

larlos para mejorar sus características de estabilidad. De nuevo la combinación de las matemáticas y la electricidad.

Pero el Profesor Schweppe tenía otras inquietudes, y yo traté de seguirle en lo que pude en alguna de ellas, lo que me condujo a un nuevo cambio de rumbo. El Profesor Schweppe quería incorporar nuevas consideraciones económicas y medioambientales en la gestión de los sistemas eléctricos. Así, se dio cuenta de que era posible calcular precios de la energía eléctrica en tiempo real y en distintos nudos de la red, y de que estos precios podían servir para orientar las decisiones técnicas y económicas de compradores y vendedores en un hipotético mercado de electricidad. A mi regreso a España, primero en el efímero Instituto Tecnológico de Postgraduados (ITP) y poco después en el Instituto de Investigación Tecnológica (IIT) de la Universidad Pontificia Comillas de Madrid, dediqué buena parte de mis esfuerzos a desarrollar modelos de optimización de las decisiones de operación e inversión para el sector eléctrico y a estudiar las posibilidades de los precios “spot” del Profesor Schweppe en la creación de mercados de electricidad.

Fue en esa época cuando me enfrenté a un puzzle al que todavía no he conseguido dar solución y que mis hijos, entonces pequeños, llamaban el “problema de Red Eléctrica”, y se maravillaban de que tardase tanto en resolverlo. Se trata de la asignación de los costes de una red de transporte de electricidad, –ya sea de un país o compartida entre varios–, entre todos sus usuarios. Trabajar en este problema me introdujo en el mundo de la regulación del sector eléctrico –una apasionante mezcla de ingeniería, economía y derecho–, a colaborar con empresas y administraciones públicas de muchos países y, al cabo, a ser nombrado vocal de la Comisión del Sistema Eléctrico Nacional, otro cambio de rumbo.

Y unos años más tarde, tras mi vuelta a la Universidad, parece ser otra vez el momento de reorganizar las prioridades. De nuevo la electricidad aparece con una dimensión distinta y ahora con una pregunta acuciante: ¿Por qué carece hoy de ella un tercio de la Humanidad? Durante estos últimos años, le he dado vueltas a esta pregunta, con la ayuda de mis colegas de la ONG Aula de Solidaridad, Supervivencia y Cooperación Internacional y del Grupo de Reflexión sobre Energía y Desarrollo Sostenible. Recientemente me he encontrado con el nombramiento como Director de la Cátedra British Petroleum de Desarrollo Sostenible en mi

Universidad y con este maravilloso regalo de ser elegido Académico de la Real Academia de Ingeniería, lo que sinceramente agradezco a sus miembros.

Así que hoy, tras todas estas vueltas y cambios de rumbo, eso sí, manteniéndome fiel a la electricidad, me propongo, con humildad pero también con una cierta osadía, hablar de aquello en lo que me gustaría trabajar en el futuro, desde la Academia y la Universidad, en los años que Dios tenga a bien concederme.

Quisiera hablar de uno de los grandes problemas a los que debe hacer frente la Humanidad:¹ de que haya 2.000 millones de personas sin acceso a la electricidad ni a otras formas avanzadas de energía, de las enormes desigualdades en los patrones de consumo energético en el mundo y del deterioro del medio ambiente en nuestro planeta Tierra. Tres aspectos inseparables de un mismo problema. Y también quisiera hablar de lo que puede hacerse para contribuir a su solución. En definitiva, voy a hablar de la energía y el desarrollo sostenible.²

1. La cuestión energética³

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 los diversos servicios que la energía proporciona, 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.

Un 80% de la demanda global actual de energía de las actividades humanas⁴ 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 renovables,⁵ –tales como solar, eólica, minihidráulica o biomasa– otro 2%, mientras que la utilización tradicional de biomasa –forma principal de suministro energético de los 2.000 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 África.⁶ Por supuesto que muchos habitantes de países poco desarrollados consumen mucho menos.⁷ 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 pobres.⁸

La Tierra cuenta hoy con algo más de 6.000 millones de habitantes.⁹ 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 utilizan.¹⁰ 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 energía.¹¹

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 mundial.¹²

Dos recientes estudios de prospectiva en el sector energético, –el World Energy Outlook de la Agencia Internacional de la Energía¹³ y el World Energy, Technology and Climate Policy Outlook de la Comisión Europea¹⁴– coinciden básicamente en sus proyecciones para el año 2030.¹⁵ Ambos dibujan un futuro en el que el consumo de energía crece

inexorablemente, los 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 tecnológico¹⁶. 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.

1.1. Una primera aproximación

¿Qué nos preocupa hoy de la energía? En tiempos recientes, y en los países desarrollados, la energía ha tenido un eco muy escaso en la opinión pública hasta el principio de la década de los setenta¹⁷. Los ciudadanos apenas nos preguntábamos si la energía era un recurso caro o barato, si en algún momento se podría producir una crisis de suministro o si la producción y transporte de energía conllevaba algún problema medioambiental.

Tras varias crisis del precio del petróleo y sus implicaciones geopolíticas, múltiples incidentes de falta de abastecimiento eléctrico en países de todo nivel de desarrollo, la amenaza del cambio climático, un accidente nuclear de la gravedad de Chernobil, o el ubicuo desarrollo de la producción con recursos renovables, la energía ha entrado a ocupar un espacio bastante más destacado en la atención de los ciudadanos y de la política.

¿Cuáles son los aspectos de la energía que realmente nos preocupan? Probablemente no esté descaminado el decir que la seguridad del abastecimiento, —esto es, que durante un largo tiempo esté garantizado el suministro de toda la energía que necesitemos a un precio asequible¹⁸—, y la calidad de servicio, —es decir, que las posibles interrupciones del suministro energético sean infrecuentes y de corta duración—. Esta misma preocupación parece ser compartida por los políticos y los responsables del sector energético en nuestro país y los de nuestro entorno económico.¹⁹

Aunque la seguridad y la calidad de nuestro abastecimiento energético sean sin duda preocupaciones legítimas, esta visión de la problemática de la energía está excesivamente centrada en nuestras necesidades a corto y medio plazo. Hemos de evitar el contemplar el problema de la energía desde una perspectiva local —España y los países de nuestro entorno— y cortoplacista —ahora y el futuro más inmediato—. Un planteamiento realista y profundo de la cuestión energética tiene que integrar en él que un tercio de la Humanidad carece hoy de suministro eléctrico y de cualquier otra forma avanzada de energía, tiene que contemplar la seguridad de abastecimiento para las generaciones futuras y tiene que ser consciente de las consecuencias del impacto medioambiental que la producción y el consumo de energía están ocasionando en el planeta que legaremos a nuestros descendientes.

Afortunadamente, este cambio de perspectiva comienza a observarse en los posicionamientos más recientes de la Unión Europea, que está comenzando a asumir un cierto liderazgo mundial en sostenibilidad energética, ya sea en la defensa y puesta en práctica del Protocolo de Kioto, en la promoción de las energías renovables, —se ha fijado el objetivo de cubrir con energías renovables el 12% del consumo bruto de energía en 2010, lo que supone el 22% en la generación de electricidad—, o en la propuesta de mecanismos para proporcionar acceso a la electricidad y agua potable a los que carecen de ella, —de acuerdo con la postura defendida en la Cumbre de Desarrollo Sostenible de Johannes-

burgo—. Aunque estos pasos todavía pueden tildarse de insuficientes, —en particular en lo que respecta a los aspectos de financiación—, no cabe duda de que apuntan en la dirección correcta.²⁰

1.2. Un planteamiento integral

¿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. Ésta 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 ambiental.²¹

La Declaración de Río, adoptada en el seno de la famosa Conferencia de Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo en 1992²² 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 mundial.²³ En la actualidad el desarrollo sostenible puede considerarse como un verdadero principio jurídico, que se va incorporando gradualmente en la legislación a todos los niveles.²⁴

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 dimen-

siones 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?

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 mundial.²⁵ Citemos, por ejemplo, el Informe Mundial de la Energía,²⁶ 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 mundial,²⁷ 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 página.²⁸ Pero la conclusión 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 comenzar.²⁹

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 dilapidarlas”.³⁰ 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 energéticos.³¹ 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 Energía³² 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. Éste es el tema que a continuación abordamos.

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 futuras.³³

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 este 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 suspensión.³⁴ 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 local,³⁵ regional³⁶ 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 complejidad 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 sostenible.³⁷

¿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 humana.³⁸

¿Cuáles son los efectos de estas emisiones? Desde la Revolución Industrial hasta ahora la concentración de CO₂ en la atmósfera ha pasado de 280 ppmv³⁹ a 360 ppmv y puede llegar a 750 ppmv a final del presente siglo. Las mejores estimaciones disponibles hasta la fecha⁴⁰ 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 razonable.⁴¹

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 complacencia.⁴² 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 social.⁴³ Otras fuentes de energía renovables también tienen 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 elementos.⁴⁴

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 climático.⁴⁵ 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 general.⁴⁶ Otra es el riesgo de utilización bélica de la energía nuclear, facilitada o amparada por la utilización civil.⁴⁷ 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 sostenibilidad.⁴⁸

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 energético.⁴⁹ Es mi opinión que la opción nuclear no debe formar parte de un planteamiento de desarrollo sostenible, mientras subsistan sus graves problemas, muy en particular el del tratamiento de los residuos.⁵⁰

Las siguientes palabras de Federico Mayor Zaragoza sitúan en su justo punto el compromiso moral que supone el conocimiento de los impactos medioambientales que acabamos de comentar:⁵¹

Por primera vez en la historia de la humanidad, la conciencia de la globalidad y del impacto de nuestras acciones nos obliga a proceder de tal modo que se eviten efectos irreversibles... que podrían limitar o anular en nuestros descendientes el pleno ejercicio de sus derechos. Es pues el criterio de irreversibilidad, de alcanzar puntos de no retorno, el que exige moralmente la adopción de decisiones a tiempo, antes de que sea demasiado tarde para corregir las tendencias que podrían desembocar, en caso contrario, en alteraciones incontrollables. Para conseguirlo, es menester avizorar, anticiparse y prevenir. En nuestro tiempo, prevenir no es tan sólo una posibilidad, sino una obligación ineludible y un imperativo ético. Hay que asegurar los derechos de las generaciones futuras o, si se quiere, los deberes de las presentes generaciones para con quienes vienen a un paso de nosotros, con quienes no han llegado todavía.

2.3. *Energía para todos*⁵²

En opinión del Consejo Mundial de la Energía, el primer problema en la sostenibilidad energética es que un tercio de la población mundial, –2.000 millones de personas–, no tiene acceso a la energía comercial⁵³ 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 con la Organización Mundial de la Salud, la combustión incompleta de la biomasa en recintos cerrados es causa de que 1.500 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 niños.⁵⁴ El uso de propano o gas natural reduciría este valor en cien veces.⁵⁵ 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 más.⁵⁶

¿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 anuales,⁵⁷ lo que supondría unos 1.000 TWh para los 2.000 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 OCDE.⁵⁸

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 usos productivos que permitan a estas personas escapar del ciclo de la pobreza.⁵⁹ La falta de energía aparece fuertemente correlacionada con muchos indicadores de pobreza, tales como la falta de educación escolar o una inadecuada asistencia sanitaria. En recientes documentos de las Naciones Unidas se considera que el acceso a la energía comercial a precios asequibles es una condición necesaria para conseguir el primero de los Objetivos del Milenio, esto es, reducir en el 2015 a la mitad el número de personas que hoy viven con menos de un dólar estadounidense. De hecho, el acceso a la energía sería un prerrequisito para poder cumplir con la mayor parte de los objetivos de la Declaración del Milenio.⁶⁰

Dice el Consejo Mundial de la Energía, en su Mensaje para 2002,⁶¹ 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.

En esta misma línea, el último Informe sobre el Desarrollo Humano 2003, del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, refiriéndose a los Objetivos de Desarrollo del Milenio, afirma:

Resulta difícil pensar en un momento más propicio para apoyar la existencia de una alianza mundial como ésta. En 2003, el mundo ha presenciado un incremento de los conflictos violentos, acompañados por un aumento de la tensión internacional y el miedo al terrorismo. Algunos podrían argumentar que la lucha contra la pobreza se debe posponer hasta que se le haya ganado la guerra al terrorismo, pero se equivocarían. La necesidad de erradicar la pobreza no compete con la necesidad de hacer del mundo un lugar más seguro. Por el contrario, erradicar la pobreza debería contribuir a crear ese mundo más seguro que forma parte de la visión de la Declaración del Milenio.⁶²

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. Ciertamente los pobres resultados –en términos de medidas concretas–, de las recientes Cumbres Mundiales auspiciadas por las Naciones Unidas, –entre las que destaca la celebrada precisamente sobre Desarrollo Sostenible en Johannesburgo en Septiembre de 2002–, dan cabida al pesimismo.⁶³ 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 opuesta,⁶⁴ 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 período 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 mundiales.⁶⁵ Obviamente, una cosa son las declaraciones de principios y otra las actuaciones concretas pero, sin duda, se va consiguiendo una coincidencia básica respecto a las grandes líneas de actuación que se deben adoptar para conseguir la sostenibilidad energética y que serían las siguientes:⁶⁶

- 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 ahora.⁶⁷

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*:⁶⁸ “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 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 energética,⁶⁹ particularmente en los países más desarrollados, todavía queda un amplio margen para lograr una reducción adicio-

nal 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 desarrollados.⁷⁰

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. Éste es el triángulo vicioso: consumo - contaminación - pobreza. Se trata de un complejo entramado de relaciones, no siempre evidentes, en el que ciertos fenómenos son causa y efecto a la vez y donde ningún elemento puede considerarse aislado.⁷¹

Examinemos un momento la idea que sobre desarrollo y bienestar está más extendida 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 1.375 habitantes. La contribución del transporte al crecimiento del CO₂ en los países de la OCDE es aproximadamente de un 33%,⁷² además de su importante contribución a las emisiones contaminantes. Claramente nuestro modelo de desarrollo del transporte no es sostenible.⁷³ 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 comportamiento.⁷⁴ 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 consumo.⁷⁵

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 orgullo.⁷⁶

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 generacionales.⁷⁷

3.2. Las fuentes renovables de energía⁷⁸

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”.⁷⁹ 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 desempeñar 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 rápidamente,⁸⁰ 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 primarias.⁸¹

Sin embargo, las energías renovables tienen un potencial muy considerable y podrían, teóricamente, proveer un suministro casi ilimitado de energía relativamente limpia a escala local.⁸² 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 Naciones Unidas,⁸³ 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, la de mayor potencial es la geotérmica (unas 12 veces), seguida de la solar (4 veces), eólica (1,5 veces), biomasa (0,6 veces) e hidroeléctrica (0,1 veces), y deja sin cuantificar el potencial de la energía de los océanos.⁸⁴

¿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 despreciables⁸⁵—, para que la viabilidad económica de estas tecnologías se reconozca.

Esta limitación de los mercados energéticos actuales debe, por tanto, ser compensada con mecanismos regulatorios específicos, que pueden ser de muy diversos tipos, como veremos más adelante. Así, la Unión Europea ha fijado como objetivo para el año 2010 el alcanzar una cuota para las energías renovables del 12% del consumo interior bruto de energía y del 22% del consumo de electricidad,⁸⁶ dejando en principio a cada país que arbitre las medidas regulatorias que considere más apropiadas. En la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible de Johannesburgo, en septiembre de 2002, se propuso por Brasil y la Unión Europea que se estableciese un objetivo de desarrollo de las energías renovables a nivel mundial pero, tras intensas negociaciones, no se llegó a un acuerdo que adoptara el establecimiento de las cuotas propuestas. La Declaración Final de la Cumbre, aunque muy positiva respecto a las energías renovables, no pasa de ser poco más que una declaración de principios.⁸⁷

Es interesante advertir que, desde una perspectiva de más largo plazo que la que es habitual en los mercados energéticos, la posición de las energías renovables mejora sustancialmente. Así, el Grupo de Trabajo sobre Energía Renovable del G8, —Grupo de los Ocho países más industrializados—, concluyó en 2001 que “aunque esto suponga un coste mayor en las primeras décadas, y tomando en cuenta solamente los costes que actualmente se reflejan en los mercados, una adecuada promoción de las energías renovables hasta el 2030 será más económico que adoptar la estrategia *business as usual* para cualquier valor realista de tasa de descuento”. La decidida apertura de áreas de negocio en energías renovables por algunas de las mayores compañías petroleras y eléctricas del mundo es un claro signo en la misma dirección.⁸⁸

La integración a gran escala de las energías renovables en los actuales sistemas eléctricos todavía plantea dificultades técnicas que hay que re-

solver, tales como el carácter intermitente de las principales fuentes de suministro, los problemas de conexión a las redes, la modificación de los sistemas de protecciones y control en las redes de media y baja tensión o la necesidad de disponer de capacidades de reserva.⁸⁹ Por otro lado, hay ventajas adicionales a las estrictamente medioambientales, como su facilidad para adaptarse al consumo disperso de las áreas rurales donde no existe suministro eléctrico y el aumento del empleo local.

Un aspecto muy positivo de las fuentes renovables de energía es su amplia dispersión geográfica, que favorece 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 sobre las fuentes de energía renovables será sin duda mucho más segura.

3.3. *El desarrollo tecnológico*

¿Qué papel les corresponde a la tecnología y a los ingenieros en el desarrollo sostenible?⁹⁰

Es muy generalizada la opinión de que la ciencia y la tecnología pueden sacarnos de cualquier atolladero. La verdad es que esto ha sido así en muchas ocasiones en la historia. Pero hay que reconocer que una confianza ciega ante la cuestión energética sería una postura irracional, —ciertamente contraria al principio de precaución, cuando tanto hay en juego—, sobre todo cuando no se proporcionan los medios adecuados para que la ciencia y la tecnología puedan realizar su cometido.

En general, la mayor dificultad para hacer frente a los desafíos de la sostenibilidad no es la falta de capacidad tecnológica, sino la determinación de prioridades en la asignación de los recursos. En este sentido, es esperanzador el programa puesto en marcha en 1989 por el gobierno holandés, con el objeto de encontrar la estrategia más eficaz para que la

tecnología pueda contribuir al desarrollo sostenible. La respuesta, apoyada por su aplicación práctica en quince proyectos, consiste en definir una visión de un futuro sostenible en un área determinada y a un plazo razonable, y “rastrear” desde el futuro hasta el momento presente, identificando las mejoras tecnológicas que será necesario desarrollar y cuándo habrían de estar disponibles.⁹¹ Desafortunadamente, este planteamiento dista mucho de ser general. El Informe sobre Desarrollo Humano 1999 del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo afirma que “los importantes avances tecnológicos tienen un enorme potencial para el desarrollo humano y la erradicación de la pobreza, pero no si se llevan a cabo de acuerdo a las actuales agendas y prioridades. Así, los cosméticos o los tomates de maduración lenta están por delante de las vacunas contra la malaria o de las semillas resistentes a la sequía, en las prioridades de investigación. La privatización y control por las corporaciones de la tecnología ha llegado demasiado lejos, y los pobres y los países en vías de desarrollo quedan al margen con el actual régimen de propiedad intelectual de los conocimientos científicos y tecnológicos”.⁹²

Otro peligro es que los avances tecnológicos, aplicados asimétricamente, acaben por abrir más que cerrar la brecha entre los países industrializados y los países en desarrollo. Por ejemplo, las tecnologías de la información y de las comunicaciones están siendo el motor de la globalización, pero al mismo tiempo están polarizando el mundo entre los conectados y los aislados. Las redes de comunicaciones pueden promocionar fuertemente la educación y la sanidad, así como dar oportunidades insospechadas a participantes de pequeña entidad, ya sean ONG o Pymes. Pero las estadísticas de usuarios de Internet muestran evidentes signos de barreras de acceso y de exclusión.⁹³

Nos encontramos, pues, ante una sociedad enfrentada con la contradicción de la presencia creciente de la tecnología en cada hecho cotidiano y la marginación de las necesidades de la mayoría, en la orientación de sus objetivos estratégicos.⁹⁴

Es por consiguiente necesario un análisis crítico de los procesos de generación de conocimiento y de cambio tecnológico, que se interrogue sobre el protagonismo social que dirige dicho proceso y en qué medida responde a las necesidades y demandas de los ciudadanos. Porque la

tecnología no es neutral, ni sus consecuencias son inevitables. Tanto su elección como sus efectos dependen del contexto institucional, económico y social en el cual se desarrollan y de las estructuras de poder en que se inscriben. Desde esta posición se deriva el rechazo claro a cualquier determinismo tecnológico: las opciones tecnológicas nunca son únicas y su inherente flexibilidad permite múltiples formas para su aplicación y gestión y para la organización del trabajo. Es hora de dejar de preguntarnos hacia dónde nos llevará el nuevo orden tecnológico —como si por sí solo condujera a alguna parte—, y por el contrario cuestionarnos el tipo de orden tecnológico que merece la pena construir. Es imprescindible revitalizar la discusión sobre la función social de la ciencia y la tecnología y conseguir una participación activa de los ciudadanos en la decisión de sus prioridades y en el control de sus resultados.

La falta de sostenibilidad de nuestro modelo de desarrollo no es *per se* un problema tecnológico. Se necesitan determinadas condiciones sociales y económicas previas para que los desarrollos tecnológicos adecuados puedan implantarse. No hay aporte técnico sin enfoque social. A la vista de las condiciones necesarias para conseguir el desarrollo, el ingeniero aparece esencialmente como un apoyo para el mismo. Puede desempeñar el papel de catalizador, pero no puede hacer nada si no se han alcanzado antes las condiciones sociales necesarias y si no está en sintonía con la capacidad de la sociedad con la que va a trabajar. El papel del ingeniero está estrechamente unido a las circunstancias sociales existentes.

¿Qué papel puede desempeñar el ingeniero en esta evolución? El ingeniero puede ejercer su responsabilidad gracias a su conocimiento de la tecnología para desarrollar procedimientos menos contaminantes, puede ayudar a la sociedad a distinguir entre los desarrollos tecnológicos indispensables y los superfluos. El ingeniero debe ser capaz de integrar los factores sociales en su gestión, que no ha de estar solamente enfocada a mejorar la eficacia, sino también a obtener resultados más humanos. Esta transformación no es fácil y es imprescindible una formación adecuada del ingeniero.

Es cierto que a menudo la actividad de muchos ingenieros y técnicos consiste esencialmente en una mera resolución de problemas a corto plazo, aunque de hecho puedan formar parte de algún proyecto de mu-

cho mayor alcance. También es cierto que una gran parte de los ingenieros se encuentra a menudo en circunstancias que limitan su capacidad de evaluar en profundidad el sentido de su trabajo o de expresar públicamente sus opiniones sobre el mismo. Pero a lo que el ingeniero no puede renunciar es a tener la capacidad de análisis y los elementos de juicio para examinar su trabajo y el rol de la tecnología en nuestra sociedad, con una perspectiva amplia y con el rigor necesario, sabiendo que la tecnología es uno, entre diversos factores, para un desarrollo sostenible. Partiendo de esta base y de su actitud personal, cada uno encontrará la mejor forma de irlos poniendo en práctica, en su trayectoria profesional y como ciudadano.

¿Qué contribuciones específicas puede hacer la tecnología a la sostenibilidad energética?⁹⁵

En última instancia, tanto el suministro como el consumo de energía son el resultado de procesos tecnológicos, así que la mejora de su eficiencia, la utilización de fuentes renovables, la reducción de las emisiones y el tratamiento de los residuos son aspectos esenciales de la sostenibilidad energética. Hay tecnologías prometedoras en cada uno de estos campos.

Las oportunidades de desarrollo tecnológico en el campo del ahorro energético son innumerables. Como una muestra, es interesante examinar los 50 casos ejemplo que el Club de Roma propone en su informe *El factor 4*⁹⁶ sobre cómo duplicar el bienestar con la mitad de los recursos naturales. Se trata de un inmenso campo de investigación y desarrollo para ingenieros y científicos de distintas disciplinas: climatización, tratamiento de residuos, máquinas y electrodomésticos más eficientes, iluminación, construcción, transporte, agricultura biointensiva o utilización del agua.

También en la utilización de combustibles fósiles para la generación eléctrica, se pretende mejorar la eficiencia, así como reducir lo más posible las emisiones.⁹⁷ Un desarrollo tecnológico reciente, aunque ya maduro y en pleno uso por todo el mundo, son las centrales de ciclo combinado de gas natural para la producción de electricidad. Estas centrales alcanzan rendimientos energéticos cercanos al 60%, frente al rendimiento medio de aproximadamente 31% de las plantas actualmente en funcionamiento, y sus emisiones de CO₂ –para una misma producción eléctrica– son del orden del 40% de las de una central convencional de

carbón. Otras tecnologías de gran interés son las que permiten la gasificación del carbón, donde el gas se utiliza a su vez en un ciclo combinado, dando lugar asimismo a bajas emisiones a la atmósfera.

Un caso paradigmático es el de las fuentes renovables de generación eléctrica, cuya tecnología básica ya es conocida, pero que aún pueden beneficiarse de sustanciales mejoras con el consiguiente abaratamiento de costes de producción, si son objeto de programas adecuados de I+D. Éste ha sido por ejemplo el caso de la generación eólica de electricidad que, tras el apoyo recibido en diversos países –España entre ellos–, está muy cercana a la viabilidad económica, incluso con los precios actuales de la electricidad. No olvidemos el apoyo que recibieron en su momento, –y aún reciben–, para su desarrollo y explotación las tecnologías tradicionales, como el carbón y la nuclear. La utilización de fuentes de energía renovables, –en combinación con otras tecnologías, según convenga–, en el suministro generalizado de energía a consumos rurales dispersos es otro desafío tecnológico de la mayor importancia.

Diversos trabajos en marcha persiguen la utilización de combustibles fósiles para transporte y para generación de electricidad con emisiones no deseables prácticamente nulas. La utilización de biocombustibles y el futuro posible rol del hidrógeno como vector energético intermedio para muchas aplicaciones y muy particularmente el transporte, –semejante al papel desempeñado por la electricidad o el gas natural actualmente–, tienen un gran potencial. Una interesante posibilidad es que la volatilidad natural en el perfil de generación de electricidad con determinadas fuentes renovables de energía pudiera compensarse con un perfil apropiado de producción de hidrógeno por electrólisis. La energía solar podría permitir la obtención de hidrógeno directamente por procesos electroquímicos, termoquímicos y fotoquímicos, de forma que el desarrollo de los reactores apropiados en los próximos años atraerá mucha atención. La investigación sobre posibles procedimientos eficaces de secuestro de las emisiones de CO₂ es otra área del mayor interés.⁹⁸

Se esperan también sustanciales mejoras en la tecnología de las pilas de combustible, donde el hidrógeno sería utilizado como combustible para obtener electricidad sin emisiones nocivas y con rendimientos muy elevados, con múltiples aplicaciones, el transporte en particular. Estos dispositivos, junto con las microturbinas y pequeños motores eficientes, se-

rán muy posiblemente los principales factores que conducirán a medio plazo a un uso generalizado de la producción distribuida de electricidad, que competiría con las grandes instalaciones actuales.⁹⁹

Por otra parte, la investigación y el desarrollo tecnológico parecen la única forma que podría permitir superar los graves problemas actuales de sostenibilidad de la actual tecnología nuclear. Se han propuesto nuevos diseños de reactores de fisión con mejores características de seguridad ante accidentes. Desde hace algunos años se vienen realizando investigaciones que al parecer han permitido comprobar la viabilidad tecnológica de modificar los elementos radioactivos de los residuos nucleares, mediante su transmutación en compuestos no radioactivos y en otros con una vida media inferior, aunque aún en el rango de varios siglos. Pero la disponibilidad industrial de esta tecnología parece aún lejana.¹⁰⁰ Los recursos de investigación y desarrollo tecnológico que actualmente se dedican a resolver el problema de los residuos radioactivos son claramente insuficientes, dada su importancia. El programa de fusión nuclear apuesta por una solución a medio plazo que, por tanto, nunca debiera distraer recursos de las urgentes acciones necesarias inmediatamente. La financiación de este programa ha carecido de la continuidad, eficacia y apoyo que su relevancia merece.

La investigación básica es esencial para poder encontrar nuevos procedimientos de producción y consumo de energía, con respuestas innovadoras a las viejas cuestiones sobre agotamiento de recursos e impacto ambiental. Me ha parecido muy significativo que el número del verano de 2003 de la revista *Spectrum* del MIT¹⁰¹ esté dedicado a la eficiencia energética, dado que esta Universidad dedica un gran esfuerzo a la investigación de vanguardia y que el ahorro de energía nunca ha sido una prioridad en los EEUU. La revista describe diversas contribuciones de investigadores del MIT sobre temas tan diversos como el uso de plasmas para mejorar drásticamente el rendimiento de los motores de explosión, diseños arquitectónicos apropiados para reducir el consumo energético de edificios, la utilización de mecanismos económicos de mercado para reducir las emisiones de CO₂ con el mínimo coste, métodos avanzados de perforación que permitirían penetrar más de diez kilómetros en la corteza terrestre para aprovechar la energía geotérmica o un sistema artificial modificado de fotosíntesis que podría producir hidrógeno a un bajo coste.

Es interesante advertir que, con frecuencia, no son las tecnologías más avanzadas las más adecuadas para resolver un problema de desarrollo sostenible.¹⁰² Se trata de utilizar en lo posible tecnologías sostenibles, que respeten la necesidad humana de un trabajo útil y satisfactorio, que causen un daño mínimo al medio ambiente y que conserven los recursos básicos. Una tecnología adecuada en un proyecto de cooperación al desarrollo será frecuentemente típicamente de pequeña escala, relativamente simple, barata, debe poder ser utilizada y mantenida localmente, de manufactura local, debe ser manejada por sus usuarios y ser de su propiedad, y tener como resultado un incremento significativo de sus ingresos netos, debe utilizar al máximo materiales y fuentes de energía renovables y locales, debe ser fácilmente transferible utilizando recursos propios y a través de mercados locales.

¿Cómo puede contribuir la tecnología a suministrar electricidad a los que no la tienen?¹⁰³

Se trata de hacer llegar la energía eléctrica u otras formas avanzadas de energía a 2.000 millones de personas; unos 400 millones de hogares, con unos consumos previsibles muy bajos¹⁰⁴ y con la dificultad añadida de la dispersión geográfica.

El primer interrogante es el de las tecnologías que han de utilizarse. Un programa de cooperación de estas dimensiones, a la vez que trata de agilizar la transición desde las formas tradicionales de energía a las modernas, debe enmarcarse dentro de una estrategia global de desarrollo sostenible. Para ello es preferible que se concentre en suministrar los servicios energéticos que puedan satisfacer las necesidades de la población, usando una diversidad de tecnologías y de combustibles adaptados a las condiciones locales, más que simplemente tratar de aumentar el suministro de electricidad y de combustibles comerciales. Los siguientes aspectos han de tenerse en cuenta:

- a) En el corto, y tal vez también en el medio plazo, las posibilidades de eliminar la dependencia de la mayoría de los habitantes del medio rural con respecto a las fuentes tradicionales de energía, —leña en particular—, son remotas.
- b) El consumo de combustibles tradicionales no es indeseable por sí mismo, sino por la forma de utilización, cuyos inconvenientes ya han sido indicados.
- c) La transición a formas modernas de energía debe ser gradual y consistente con los correspondientes cambios estructurales.

La propuesta del Grupo de Trabajo sobre Energías Renovables del G8, –hecha suya por Greenpeace y presentada en la Cumbre de Johannesburgo¹⁰⁵– se apoya fundamentalmente en el uso de las energías renovables, principalmente con generación distribuida basada en todas las tecnologías disponibles en el momento actual, encontrando las soluciones más adecuadas a cada caso concreto. En los emplazamientos aislados, el programa debería articularse a través de instalaciones autónomas o pequeñas redes. En los emplazamientos cercanos a la red de distribución, además de la generación distribuida en red, se deberían construir centrales de generación fundamentalmente basadas en energías renovables. Para satisfacer las pequeñas demandas aisladas, algunas de las tecnologías renovables ya constituyen en la actualidad una solución económicamente más viable que las tecnologías basadas en los combustibles fósiles.

Pero, en general, para que sea posible la implantación de tecnologías basadas en energías renovables en estos países, es preciso que éstas alcancen un desarrollo tal que permita una rebaja sustancial de sus costes. Parece complicado que soluciones que no se asumen todavía plenamente en los países desarrollados por su difícil viabilidad económica vayan a resultar viables y financiables en los países más pobres. Por este motivo, y por la necesidad de reconducir hacia la sostenibilidad el modelo energético en los países desarrollados, los países desarrollados deben adquirir compromisos firmes en la introducción de las energías renovables en fase comercial en su sistema energético y en proporcionar los recursos de I+D para viabilizar las fuentes de energía renovable actualmente menos desarrolladas.

3.4. Las medidas económicas y regulatorias

Como acabamos de ver, buena parte de las técnicas necesarias para lograr incrementos de eficiencia y reducción de impacto ambiental fundamentalmente ya existen, y las fuentes de energía renovables están disponibles para aumentar su contribución al suministro energético.

Teóricamente, al mercado correspondería transmitir las señales económicas que fomenten el ahorro y la innovación tecnológica para el desarrollo de procesos que sean menos intensivos en energía, así como para rentabilizar las inversiones en fuentes renovables. Sin embargo, el mercado y los precios de la energía tienen limitaciones para trasladar a los

agentes las señales más adecuadas para una asignación y utilización óptima de los recursos. Los precios en general no reflejan los costes ambientales de producción, ni trasladan al mercado con realismo los problemas de suministro futuro de las energías primarias en los mercados internacionales. En definitiva, el comportamiento de la demanda de energía no tiene la oportunidad de responder plenamente a criterios de racionalidad económica y no se reconoce a las tecnologías renovables su menor impacto ambiental.¹⁰⁶

La tarea de incorporar los costes medioambientales en los precios de la energía tropieza con dos importantes dificultades. Por un lado, la existencia de grandes incertidumbres en la cuantificación de los costes medioambientales o de responsabilidad intergeneracional, que generalmente corresponden a bienes intangibles o de muy difícil valoración. Por otro lado, la necesidad de un amplio acuerdo internacional al respecto, pues los precios de la energía pueden afectar significativamente a la competitividad de las empresas. Por este motivo, al menos transitoriamente, se ha comenzado por hacer uso de otros mecanismos económicos más rudimentarios. Por el lado de la oferta se han puesto en marcha diferentes procedimientos de incentivación de la producción de electricidad a partir de fuentes de energía renovables, entre los que destacan las primas a la producción, –esto es, una retribución adicional al precio del mercado por cada kWh producido¹⁰⁷–, los mercados de créditos verdes, –es decir, obligaciones de adquisición de un porcentaje prefijado de energía de origen renovable–, o las subastas de capacidad de generación dirigidas exclusivamente a estas tecnologías. También se puede actuar directamente sobre las emisiones, ya sea limitando directamente su cuantía o bien estableciendo procedimientos de mercado para tratar de minimizar el coste de las reducciones que establezcan como objetivo. Por el lado de la demanda los mecanismos más habituales consisten en la aplicación de impuestos al consumo energético,¹⁰⁸ –de forma que los precios comiencen a reflejar los costes de impacto ambiental–, y el apoyo a programas de ahorro energético.¹⁰⁹

Es interesante observar que el liderazgo en proponer regulaciones en pro de la sostenibilidad energética es en general más acentuado cuanto más amplio es el ámbito territorial bajo la responsabilidad del organismo regulador; posiblemente porque la implantación de las normas encuentra mayor resistencia en el entorno nacional o local.¹¹⁰ La Declara-

ción del Milenio, las conclusiones de las Cumbres de Río o de Johannesburgo,¹¹¹ o el Protocolo de Kioto –por citar algunos ejemplos representativos–, son magníficos manifiestos en favor del desarrollo sostenible en general y de la sostenibilidad energética en particular. Lo mismo puede decirse de muchos de los documentos oficiales de la Unión Europea, basta con leer por ejemplo la reciente propuesta de la Comisión Europea de un programa de medidas en el ámbito de la energía denominada Energía inteligente para Europa.¹¹²

Claramente la Unión Europea ha adoptado una posición activa al respecto y, entre otras medidas, ha establecido el objetivo de cubrir el 12 % de las necesidades primarias de energía del conjunto de la Unión con energías renovables –incluyendo cualquier tipo de producción hidroeléctrica– en el año 2010, lo que supone aproximadamente una participación del 22% en la producción de electricidad, y un 29% para España en particular¹¹³. Asimismo, en el año 2005 comenzará a funcionar el mercado de emisiones de CO₂ con el que la UE se adelantará en tres años a la fecha oficial de implantación de su compromiso respecto al Protocolo de Kioto. Estas medidas forman parte de una estrategia amplia de sostenibilidad energética, donde para la Unión Europea es también esencial mitigar su gran dependencia. La Unión Europea ha firmado el plan de aplicación final de la Cumbre de Johannesburgo y, entre otros compromisos, ha asumido el de proporcionar a los países en desarrollo recursos financieros para desarrollar conocimientos en materia energética, incluidas las fuentes de energía renovables, y para promover la eficiencia energética y tecnologías más limpias para los combustibles convencionales.¹¹⁴

En el contexto regulatorio que se acaba de describir, parece que la tarea más relevante que los individuos y las instituciones pueden realizar es contribuir a crear presión social a favor de la sostenibilidad energética. En efecto, esta presión es la que acaba por conseguir que se incluyan los temas verdaderamente importantes, con los enfoques adecuados, en las agendas de los grandes foros y de los gobiernos, que ya sabemos que cuando actúan suelen hacerlo a instancias de la opinión pública que les sustenta. Pero esta presión social es impensable si la mayoría de la sociedad no toma conciencia de su necesidad.¹¹⁵ Para ello es imprescindible el quinto y último pilar del planteamiento que aquí se propone para conseguir la sostenibilidad energética: la educación y la concienciación.

3.5. Educación y concienciación

Se ha dicho que “cada día resulta más evidente que la Historia ha llegado a ser una carrera entre la educación y el desastre”.¹¹⁶ En efecto, la educación es nuestra gran esperanza para un futuro sostenible.¹¹⁷ La Carta de la Tierra¹¹⁸ comienza afirmando que “necesitamos urgentemente una visión compartida de valores básicos para suministrar un soporte ético a la comunidad mundial emergente”. Las Cumbres de la Tierra y los recientes documentos de las Naciones Unidas y de la UNESCO insisten en la necesidad de un rearme moral, una insistencia en la educación en valores como alternativa a una educación meramente técnica.¹¹⁹

He tratado de mostrar a lo largo de la exposición que las soluciones al desafío de la sostenibilidad energética no pueden ser diseñadas sin una clara conciencia de las numerosas y complejas implicaciones sociales, económicas y medioambientales del uso de la energía, que han ido pasando progresivamente del nivel local, al regional y global. Afirma el Consejo Mundial de la Energía¹²⁰ que “sin una aceptación y comprensión ampliamente extendidas de estas implicaciones por los pueblos del mundo, no es fácil ver cómo los gobiernos nacionales o las organizaciones internacionales estarán en condiciones de formular e implantar los marcos económicos, legales, regulatorios y administrativos que se requieren para devolver al mundo a un sendero de sostenibilidad”.

El contenido del mensaje a transmitir ya va estando claro: “El desarrollo sostenible es aprender a cómo vivir con un mayor respeto por los demás y por nuestro medio ambiente natural. Es reconocer el impacto que nuestras actitudes y acciones tienen sobre los demás, las conexiones entre una acción en un área de nuestras vidas y su impacto en otro lugar, y tratar de detener y recomponer la destrucción de los ecosistemas que nos rodean. Es admitir y asumir la responsabilidad por nuestras acciones, reconociendo la importancia de lo que hace cada uno de nosotros y que los gobiernos no pueden actuar si nosotros somos indiferentes”.¹²¹

¿Cuál es el papel de las instituciones en este proceso de concienciación y educación y cuál podría ser el de la Real Academia de Ingeniería?

Los grandes temas de nuestro tiempo exigen tomar partido, a las personas individuales, a las empresas e instituciones, a los partidos políticos, a

los gobiernos y también a las religiones.¹²² Sabemos que estos grandes problemas –como el de la sostenibilidad energética–, sólo pueden resolverse realmente a través del cambio de mentalidad en la opinión pública, que acaba filtrándose lentamente en las decisiones políticas. Dijo Martín Luther King que “nuestras vidas empezarán a terminar el día en que guardemos silencio sobre las cosas que realmente importan”. Yo creo que esta frase lapidaria también se aplica a las instituciones. El gran enemigo es la pasividad de los muchos, que pensamos que nuestras actitudes y acciones individuales, como consumidores, ciudadanos o miembros de instituciones y empresas, no van a tener influencia alguna y que no hacemos valer nuestra opinión sobre los que toman decisiones.

Estamos asistiendo en todo el mundo, y en España en particular, a un valiosísimo despertar de las empresas a este respecto, de forma que han comenzado a integrar los factores medioambientales, económicos y sociales en sus estrategias, con un mayor énfasis en una visión de largo plazo de sus actividades, como parte esencial de lo que se ha venido a llamar la *responsabilidad social corporativa*. Sin duda, las consideraciones económicas tienen un papel esencial en esta actitud, pero el fenómeno es complejo y tiene también otras dimensiones. Un reciente y acreditado estudio¹²³ sostiene que la respuesta de empresas, pertenecientes a diversos sectores industriales, a las amenazas y oportunidades asociadas al cambio climático puede tener un peso sustancial en su valor económico. El comportamiento social y medioambiental de las empresas afecta su imagen pública, su valor en bolsa y, en definitiva, su competitividad y sus beneficios.

Instituciones como el Instituto de la Ingeniería de España están tomando también posiciones en este asunto. La Presidenta del Instituto afirmaba en noviembre pasado –mientras presidía una mesa redonda sobre Estrategias de sostenibilidad en la empresa–, que “sólo el uso eficiente de la tecnología garantiza el desarrollo sostenible” y que “si bien se ha avanzado sustancialmente en los compromisos de las empresas con la gestión sostenible, todavía no se ha alcanzado el umbral que garantice un desarrollo a largo plazo que no hipoteque el futuro de las generaciones venideras”.¹²⁴ El Comité de Energía y Recursos Naturales del Instituto edita sistemáticamente publicaciones referidas a temas de actualidad energética, como el reciente y valioso informe sobre “Generación eléctrica distribuida”.¹²⁵

Qué decir de la universidad. Entre las numerosísimas declaraciones en este sentido¹²⁶ me limito a citar aquí a Peter-Hans Kolvenbach, Prepósito General de la Compañía de Jesús:¹²⁷

El conocimiento no es neutro, porque implica siempre valores y una determinada concepción del ser humano. La docencia y la investigación no pueden dar la espalda a la sociedad que las rodea. [...] La universidad debe ser el lugar donde se airean cuestiones fundamentales que tocan a la persona y a la comunidad humana, en el plano de la economía, la política, la cultura, la ciencia, la teología, la búsqueda de sentido. [...] A las universidades corresponde un papel insustituible en el análisis crítico de la globalización, con sus connotaciones positivas y negativas, para orientar el pensamiento y la acción de la sociedad. [...] No basta la denuncia: son necesarios también el anuncio y la propuesta. Comprometerse en este terreno como universidades es una consecuencia del servicio que la universidad debe prestar a la sociedad. [...] Es necesario contribuir a la globalización de la solidaridad.

Tengo constancia de iniciativas muy prometedoras al respecto en el entorno universitario español y también mundial. Todas ellas con la clara orientación de que la sostenibilidad, la pobreza y el deterioro medioambiental no deben ser planteados como temas complementarios de formación, sino firmemente incorporados al núcleo, a lo más troncal de las enseñanzas que se imparten y de la investigación que se realiza.¹²⁸ Ingeniería sin Fronteras¹²⁹ viene realizando en nuestro país desde hace muchos años un magnífico trabajo, promoviendo las ideas del impacto social de la tecnología y de su relación con la sostenibilidad, y ofreciendo diversas vías a los ingenieros para la formación y la práctica de la cooperación al desarrollo. El Plan de Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Cataluña, ya en su segunda edición a los siete años de su implantación inicial, es ciertamente un modelo que imitar. Se trata de un ambicioso plan integral que comprende múltiples líneas de actuación: la ambientación curricular –por la que se ha establecido e impartido para cada titulación, departamento y materia el perfil de conocimientos en medio ambiente que deben tener los estudiantes cuando acaban la carrera, incluyendo por ejemplo el estudio del impacto ambiental en los proyectos fin de carrera, la organización de cursos para la formación de los profesores y de personal de las empresas y la edición de material específico–, la potenciación de la investigación ambiental con una planificación y coordinación de objetivos, y la ambientalización de la vida univer-

sitaria –que abarca aspectos tan diversos como la recogida selectiva de residuos, una auditoría energética de la propia universidad y múltiples programas de sensibilización–. Otras universidades españolas están asimismo poniendo en marcha iniciativas en este sentido, tratando de incorporar criterios medioambientales y de sostenibilidad a la gestión universitaria, en algunos casos a través de dos herramientas principales: la normativa ISO 14000 y la implantación de Agendas 21 locales. Es también de destacar el conjunto de actividades englobadas por la Estrategia de Cooperación Universitaria al Desarrollo, que promueve la Conferencia de Rectores de las Universidades Españolas. Existen, por supuesto, numerosas iniciativas en otros países.¹³⁰

Como recién llegado a la Real Academia de Ingeniería no soy quién para indicar sus prioridades o líneas preferentes de actividad. Pero es obvio que nuestra joven Academia encierra un fascinante potencial y que el reto del desarrollo sostenible y, en particular, el de la sostenibilidad energética, es un polo de atracción indiscutible. El Gobierno español creó la Academia de Ingeniería para contar con “una institución que fuese capaz de aconsejar y orientar con la mayor competencia al Estado y a la sociedad en materias tecnológicas”.¹³¹ Entre sus fines figura destacadamente “la prospección y análisis crítico de la evolución científica y tecnológica, tanto en el ámbito nacional como en el internacional, con capacidad de aconsejar respecto a estas materias a cuantas instancias lo soliciten o requieran y, en particular, a las instituciones dedicadas a la formación de ingenieros”.

Humildemente expreso mi opinión de que la dimensión tecnológica integral del desarrollo sostenible, posiblemente uno de los temas de mayor importancia para la humanidad en nuestro tiempo, ha de ocupar un lugar destacado en la atención de la Academia. Si la opinión pública y la educación son las vías más prometedoras para ganar la batalla de la sostenibilidad, no podemos permitirnos el lujo de prescindir en este asunto de la voz autorizada de la Academia y sus académicos, así como de su consejo a las Escuelas de Ingenieros en lo referente al tratamiento de la incorporación de la sostenibilidad en sus programas de enseñanza.

4. Conclusión: ¿Hacia dónde vamos?

La edad del Universo se puede estimar ya con bastante precisión en unos trece mil setecientos millones de años¹³² y la de nuestro planeta

Tierra en cuatro mil quinientos millones. Supongamos que esos cuatro mil quinientos millones de años de existencia de la Tierra se comprimiesen en un solo día, y que éste por ejemplo comenzase la pasada medianoche.¹³³ La vida, entonces, comenzó hacia las cinco de la madrugada y se fue desarrollando a lo largo del día. Hacia las ocho de la tarde aparecen los moluscos. Hacia las once de la noche los dinosaurios, que desaparecerán a las doce menos veinte, dejando el campo libre para la rápida evolución de los mamíferos. Los primeros hombres, a los que por ejemplo corresponde la famosa osamenta de la austrelopiteca Lucy, vivían en África al este del valle del Rift hace tres millones de años, esto es, un minuto antes de las doce de la noche de hoy. El fuego fue dominado unos diez segundos antes de la medianoche, el hombre de Cro-Magnon llegó a Europa menos de un segundo antes de acabar el día, el descubrimiento de la agricultura ocurre una décima de segundo antes de las doce y la Revolución Industrial comienza unas tres milésimas de segundo antes de que nuestro día ficticio toque a su fin.

Es evidente que cuanto más avanzamos en la historia del mundo más rápidamente progresa la evolución. Es irracional pensar que lo que está ocurriendo durante esta minúscula fracción de segundo en la que hemos desarrollado nuestro modo de vida actual pueda durar indefinidamente. La evolución del universo, de la vida y del hombre nos ha situado en una encrucijada, con un cierto margen de libertad y la responsabilidad correspondiente. La evolución continúa, pero ahora es sobre todo técnica y social. La cultura ha cogido el relevo. Accedemos a una conciencia colectiva de nosotros mismos. Se podría decir que estamos inventando una nueva forma de vida, un macroorganismo planetario que engloba el mundo viviente y los productos humanos, que también evoluciona y cuyas células, de alguna manera, somos nosotros. Internet podría considerarse como el embrión del sistema nervioso de este macroorganismo. Nuestros inventos serían el equivalente de las mutaciones, al incorporar a este organismo medios tales como el teléfono, el televisor, los distintos vehículos, el ordenador o los satélites artificiales. Esta evolución técnica y social avanza mucho más rápido que la evolución biológica darwiniana. Incluso podría verse el mercado como un sistema de selección natural que elimina o potencia determinadas especies de invenciones.

Pero la gran pregunta es: ¿vivirá este macroorganismo en simbiosis con el medio o será un parásito que destruirá al anfitrión que lo sostiene, lo

que conduciría a graves crisis ecológicas, económicas y sociales? Estamos extrayendo actualmente, en beneficio propio, recursos energéticos y materiales y tirando los desechos al entorno de forma tal que empobrecemos de manera creciente el sistema que nos sostiene.

Hace unos 50.000 años, durante un intervalo de tiempo relativamente corto de unos 10.000 años, parece ser que se disparó la innovación humana. Aquellos antecesores nuestros comenzaron tallando unos cuchillos de piedra más elaborados y continuaron con agujas de hueso, cuerda, flautas, pinturas, adornos y otros diversos artefactos y técnicas, transformando su forma de vida. Pudiera considerarse la transformación más notable que ha experimentado nuestra especie. Fue un cambio de actitud ante el medio: la innovación. Una explicación plausible de este cambio es que la transición, que ocupó solamente unas 500 generaciones, ocurrió en un período de estrés a causa de inestabilidad climatológica y que fue estimulada por la consiguiente escasez de recursos.¹³⁴

También hoy, unas 2.500 generaciones más tarde, la Humanidad se encuentra ante un conjunto de desafíos que exigen un esfuerzo de innovación tan profundo como el de nuestros antepasados. Desafortunadamente, no parece que ahora dispongamos de 500 generaciones para diseñar e implantar el necesario cambio de rumbo, sino tal vez sólo de unas cuantas.¹³⁵ La innovación necesaria para afrontar la cuestión energética necesita profesionales –ingenieros entre ellos– con un profundo conocimiento de su disciplina específica, pero también con una visión integral de los factores que condicionan la sostenibilidad y de sus implicaciones.

Se trata de orientar esta nueva fase de nuestra evolución buscando la armonía entre la Tierra y la tecnología, entre la ecología y la economía. Decía Miguel Delibes en su discurso de ingreso en la Real Academia Española, pronunciado el 25 de mayo de 1975,¹³⁶ 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”.

Vivimos en un mundo que, cada vez más, es nuestra propia obra. Como nuestros ancestros de hace 50.000 años, necesitamos de la innovación y de la tecnología como instrumentos para llevar a cabo con éxito el cambio cultural que estamos experimentando. Tal vez dentro de 50.000 años nuestros distantes descendientes se asombren de cómo nos las arreglamos para hacer avanzar el mundo en formas que todavía no hemos empezado a imaginar.

La ingeniería tiene un papel fundamental en esta ingente tarea, donde la sostenibilidad energética de las actividades humanas desempeña un papel esencial. Quisiera, sencillamente, contribuir a potenciar la conciencia de servicio de los ingenieros a este noble fin, desde una perspectiva verdaderamente global.

He dicho.

NOTAS

¹ Hay otras graves amenazas a la sostenibilidad del desarrollo humano, pero aquí solamente se examinará la sostenibilidad desde el punto de vista energético. El Worldwatch Institute en el *State of the World 2003*, W.W. Norton & Co., 2003, pp. 5 a 8, cita como las mayores amenazas a la sostenibilidad las cinco siguientes: i) superpoblación; ii) modificación de los ciclos químicos globales del carbono, nitrógeno y fósforo; iii) riesgos a largo plazo derivados de la contaminación química; iv) mezcla de especies causada por la gran movilidad que proporcionan indirectamente los medios de transporte; v) declive ecológico, esto es, pérdida de ecosistemas ricos en vida (e.g. bosque tropical, arrecifes de coral) y extinción de especies. Véase también World Energy Council, *Living in one world*, 2001, www.worldenergy.org, pp. 84 a 125.

² Véase J. I. Pérez Arriaga, *Energía y desarrollo sostenible*, Lección Inaugural del curso académico 2002-2003, Universidad Pontificia Comillas de Madrid.

³ 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: A) 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.

⁴ 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.

⁵ 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.

⁶ International Energy Agency, *Key World Energy Statistics 2002 edition*, OECD/IEA 2002.

⁷ WEA, p.4, CNE / ENERCLUB, p. 46.

⁸ WEA p. 156.

⁹ 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.

¹⁰ 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.

¹¹ International Energy Agency, Key World Energy Statistics 2002 edition, OECD/IEA 2002.

¹² PNUD-2003, p. 10.

¹³ IEA-2002.

¹⁴ WETO-2003.

¹⁵ 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.
- ♦ 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 2003, 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.

¹⁶ La tasa de electrificación superará el 96% en todas las regiones del mundo excepto en el sur de Asia, África Sub-Sahariana y el norte de África. Ver International Energy Agency, Key World Energy Statistics 2002 edition, IEA-2002, cap. 13.

¹⁷ CNE / ENERCLUB.

¹⁸ La factura energética familiar supone como promedio en España un 2,5% del gasto familiar. Ver CNE / ENERCLUB, p. 179.

¹⁹ Parece que hay realmente motivos para tal preocupación. Los ministros de energía de los países de la OCDE, en la reunión mantenida en París en mayo de 2001, emitieron un comunicado final señalando que "el suministro de energía a precios asequibles no puede darse por supuesto" y señalaron la "necesidad de una gestión más eficiente de la energía y la de buscar fuentes sostenibles a largo plazo para asegurar el suministro".

Con la publicación en noviembre de 2000 de su Libro Verde Hacia una estrategia europea de seguridad del abastecimiento energético, la Comisión Europea ha abierto un debate muy necesario sobre el tema. La seguridad de suministro que el Libro Verde propugna no pretende maximizar la autonomía energética o minimizar la dependencia, sino reducir los riesgos derivados de esta última. El Libro Verde insiste en las debilidades estructurales del abastecimiento energético de la Unión, a saber: la creciente tasa de dependencia energética de Europa, la crítica función del petróleo en la fijación del precio de la energía y los decepcionantes resultados de las políticas de control del consumo. La Unión Europea no puede emanciparse de su dependencia energética sin una política energética activa. Si no se hace nada, de aquí a 20 ó 30 años la Unión cubrirá sus necesidades energéticas en un 70% con productos im-

portados, frente al 50% actual. La referencia completa es Hacia una estrategia europea de seguridad del abastecimiento energético, Libro Verde de la Comisión de las Comunidades Europeas, Bruselas, 29.II.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.

Otra referencia de interés es Desarrollo de una política energética para la Unión Europea ampliada y sus vecinos y países asociados, Comunicación de la Comisión (COM/2003/262 final).

²⁰ Ver en La estrategia de desarrollo sostenible de la Unión Europea en el contexto global: De Río a Johannesburgo, Domingo Jiménez Beltrán, Ecología Política, no. 22, Diciembre 2001: "Aunque pueda tacharse de no ambiciosa, sobre todo en los aspectos de financiación al desarrollo, la estrategia comunitaria construye un largo listado de acción alrededor de unos objetivos prioritarios:

- a) Contribución de la globalización al «desarrollo sostenible» (bajo la OMC).
- b) Lucha contra la pobreza y prevención del «desarrollo sostenible» (mejora de la cooperación al desarrollo).
- c) Gestión sostenible de recursos naturales (agua, suelo y territorio, energía y biodiversidad. Mejoras a partir de 2015).
- d) Mejora de la gobernabilidad en las políticas comunitarias, y apoyo a estructuras globales y regionales, África en particular.
- e) Financiación del «desarrollo sostenible» (con progreso hacia el 0,7 por 100 del PIB como AOD; entretanto 0,39 por 100 para 2006 y cada Estado miembro más del 0,33 por 100 del PIB; o vuelta a los niveles perdidos de Río 92)".

Otras referencias de interés son: a) Report of the World Summit on Sustainable Development, Johannesburg, South Africa, 26 August – 4 September; United Nations, 2002; b) La Cumbre de Johannesburgo 2002, Papeles para la Sostenibilidad, Fundación FIDA, 2002; c) Estrategia de la Unión Europea para un desarrollo sostenible, (COM/2001/264) y Hacia una asociación global a favor del desarrollo sostenible, (COM/2002/82), ver www.europa.eu.int/comm/environment/eussd/index.htm.

²¹ 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.

²² Esta conferencia de las Naciones Unidas es también conocida como "la Cumbre de Río" o "la Cumbre de la Tierra".

²³ 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.

²⁴ "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.

²⁵ 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.II.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.

²⁶ Este es el documento que hemos referenciado como "WEA", por "World Energy Assessment".

²⁷ 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.

²⁸ WEA, capítulo 5; WEC-2001, capítulo 6; WETO-2003, sección 2.4; BP-2003.

²⁹ 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.

³⁰ Ver Energía: Controlemos nuestra dependencia, Comisión Europea, 2002, http://europa.eu.int/comm/energy_transport/es/lpi_lv_es1.html.

³¹ IEA-2001, p. 28 y WEA p. 14 y capítulo 8.

³² IEA-2001, p. 26.

³³ 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.

³⁴ 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.

³⁵ 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.

³⁶ 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 NOx 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.

³⁷ 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.

³⁸ 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.

³⁹ La unidad de medida ppmv significa partes por millón en volumen.

⁴⁰ Informes de los Grupos de Trabajo I, II y III del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático, 2001.

⁴¹ 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".

⁴² WEA p. 89.

⁴³ 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 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.

⁴⁴ IEA-2001, p. 32 y 72.

⁴⁵ 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.

⁴⁶ 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.

⁴⁷ 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?

⁴⁸ 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.

⁴⁹ 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.

⁵⁰ 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.

⁵¹ Los nudos gordianos, Federico Mayor Zaragoza, Galaxia Gutenberg, 1999.

⁵² 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.

⁵³ WEC-2001, p. 49.

⁵⁴ The Challenge of rural energy poverty in developing countries, World Energy Council, October 1999, sección 1.4.2.

⁵⁵ IEA-2002, p. 368.

⁵⁶ A framework for action in energy, Naciones Unidas, WEHAB (Water, Energy, Health, Agriculture and Biodiversity) Working Group, Agosto 2002.

⁵⁷ 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.

⁵⁸ Elaboración propia.

⁵⁹ Ver The Challenge of rural energy poverty in developing countries, World Energy Council, October 1999, y PNUD-2003, p. 126.

⁶⁰ A framework for action in energy, Naciones Unidas, WEHAB (Water, Energy, Health, Agriculture and Biodiversity) Working Group, Agosto 2002.

⁶¹ Energía para todos, energía para la Paz, Mensaje del Consejo Mundial de la Energía para 2002., Octubre 2001, www.worldenergy.org.

⁶² PNUD-2003, p. 1.

⁶³ Ver PNUD-2003, p. 147. En 1974, en una resolución de la Asamblea General de las Naciones Unidas, los países ricos prometieron "ayudar a los países en desarrollo a ayudarse a sí mismos", facilitándoles fondos equivalentes al 0,7% de su PIB. En la Cumbre Mundial sobre la Alimentación de 1996 los Jefes de Estado se comprometieron a poner los medios necesarios para reducir a la mitad el número de personas que pasan hambre en el mundo para el año 2015, compromiso que ratificaron en la Cumbre del Milenio de las Naciones Unidas del año 2000. ¿Cuál es la triste realidad? La Asistencia Oficial al Desarrollo de los países de la OCDE, -que además en muchos casos no está realmente orientada a los fines urgentes de alivio de la pobreza, sanidad y educación-, es como media el 0,22% del PIB conjunto y está cayendo actualmente a un promedio del 5% anual. Según el Banco Mundial bastaría con duplicar esta cantidad para cumplir el objetivo de reducir a la mitad el número de pobres para el 2015. Mientras tanto los gastos destinados a defensa suponen un 5% del PIB mundial, de los que casi la mitad corresponden a los Estados Unidos, cuya contribución a la ayuda al desarrollo es actualmente del 0,10% de su PIB. Se han celebrado recientemente importantísimas conferencias de ámbito mundial sobre el desarrollo: la Conferencia Internacional sobre Fi-

nanciación para el Desarrollo de Monterrey en marzo de 2002, la Cumbre de la Alimentación de Roma en junio de 2002, la Cumbre de la Tierra sobre Desarrollo Sostenible de Johannesburgo en septiembre 2002 y la Conferencia Ministerial de la Organización Mundial del Comercio (la Ronda del Desarrollo) en Cancún en septiembre 2003. Los pocos resultados prácticos de estas conferencias apenas han cambiado el desolador panorama anterior: La cantidad actual que dedica la UE como promedio es del 0,33%. España está en el 0,24%. En la Cumbre de Monterrey la UE acordó llegar al 0,39% del PIB comunitario para el 2006. En Monterrey Estados Unidos se comprometió a aumentar su ayuda del 0,10% al 0,15% de su PIB, esto es, en 5000 millones de dólares o aproximadamente la centésima parte de su presupuesto militar anual. Las conclusiones de la Conferencia de Johannesburgo son positivas en su aspecto declaratorio, pero apenas contienen compromisos concretos y cuantificables. La Ronda de Cancún se cerró sin conclusiones, a causa de fuertes discrepancias entre las posiciones de los países pobres y las de los ricos.

⁶⁴ WEC-2001, capítulo 7.

⁶⁵ 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".

⁶⁶ 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.

⁶⁷ WEA, p. 23.

⁶⁸ Federico Mayor Zaragoza, "Los nudos gordianos", Galaxia Gutemberg, 1999.

⁶⁹ 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 eco-

nómica 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.

⁷⁰ 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.

⁷¹ Caballero, A., "Un triángulo muy viciado: consumo, pobreza y deterioro ambiental", Folletos Informativos de Manos Unidas, Julio 1997.

⁷² IEA, p. 151.

⁷³ 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."

⁷⁴ 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.

⁷⁵ 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 económico 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.

⁷⁶ 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.

⁷⁷ 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.

⁷⁸ 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.

⁷⁹ The evolving renewable energy market, International Energy Agency (IEA), Paris, 1999, p. v.

⁸⁰ El crecimiento anual de la energía eólica, por ejemplo, ha sido estos años de alrededor del 30%.

⁸¹ Mensaje del Consejo Mundial de la Energía para 2003: Cuotas de la energía renovable, www.worldenergy.org.

⁸² *Ibíd.*

⁸³ 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 Gutemberg, 2000, capítulo 6.

⁸⁴ 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.

⁸⁵ 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 consultar-

se) 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.

⁸⁶ Directiva 2001/77/EC de la Unión Europea. Greenpeace ha lanzado recientemente una iniciativa para suministrar el 12% de la demanda mundial de electricidad con generación eólica para el año 2020, ver Viento fuerza 12, Greenpeace, APPA y European Wind Energy Association, Noviembre 2002.

⁸⁷ La Declaración final dice textualmente: "...se recomienda) diversificar el suministro de energía, desarrollando tecnologías energéticas avanzadas, más limpias, más eficientes, asequibles y rentables, incluyendo tecnologías para combustibles fósiles y energías renovables, incluida la hidráulica, y su transferencia a los países en desarrollo sobre bases contractuales mutuamente acordadas. Se considera urgente el aumento sensible de la participación global de las fuentes de energía renovable, con objeto de incrementar su contribución al suministro total de energía, reconociendo el papel de cuotas voluntarias, a escala nacional y regional, así como las iniciativas, donde existan, asegurando que las políticas energéticas apoyen los esfuerzos de los países en desarrollo para erradicar la pobreza, y evaluar regularmente las informaciones disponibles para hacer el balance del progreso en este sentido". Ver Report of the World Summit on Sustainable Development, United Nations, A/CONF.199/20, Johannesburg, South Africa, 26 August-4 September 2002 y también WWI-2003, capítulo 5 y pp. 86, 98-105. Poco satisfechos con estas conclusiones, un numeroso grupo de países, entre ellos los de la Unión Europea, formaron una coalición, llamada Johannesburg Coalition on Renewable Energies, de países que sí deseaban adoptar mayores compromisos en este campo. La primera reunión formal de este grupo tendrá lugar en junio de 2004 en Bonn, convocada por el Gobierno alemán.

⁸⁸ Ver WWI-2003, pp. 107-108.

⁸⁹ Ver Generación eléctrica distribuida, Comité de Energía y Recursos Naturales del Instituto de la Ingeniería de España y Fundación Gas Natural, junio 2003.

⁹⁰ Para la redacción de esta sección el autor se ha inspirado, entre otras fuentes, en Ingeniería sin Fronteras, Revista de Cooperación, año viii, número 14, primavera 2001.

⁹¹ Ver Sustainable Technology Development, P.Weaver, L. Jansen, G. Van Grootveld, E. Van Spiegel, P. Vergragt, Greenleaf Publishing, 2000.

⁹² Ver PNUD-1999, capítulo 2. Ver también PNUD-2003, pp. 3 y 12, donde se dice que "el mundo actual dispone más que nunca de mayores recursos y conocimientos técnicos para abordar retos como las enfermedades infecciosas, la baja productividad, la carencia de energía limpia y transporte o la falta de servicios básicos, como son el agua potable, el saneamiento, las escuelas y la atención médica. La cuestión es determinar la mejor manera de emplear estos recursos y conocimientos para beneficiar a las personas más pobres ... Existe un margen muy amplio para que los países ricos ayuden a canalizar los beneficios de los progresos tecnológicos a favor de los avances del desarrollo humano, poniendo fin a la situación de abandono en la que se encuentran las necesidades de los pobres. Así, por ejemplo, actualmente sólo el 10% del gasto total en investigación y desarrollo en el campo de la medicina está dirigido a las enfermedades del 90% más pobre de la población mundial".

⁹³ En el año 2000, de las computadoras conectadas a Internet, el 93% se encontraban en los países con ingresos más altos, cuya población representa sólo el 16% del total mundial. Ver también PNUD-1999, p. 20.

⁹⁴ Ver una exposición más detallada de estas ideas en la Revista de Cooperación, Ingeniería sin Fronteras, año viii, número 14, primavera 2001.

⁹⁵ WEA capítulo 8: Tecnologías avanzadas para el suministro de energía; Energy Technology and Climate Change, International Energy Agency, IEA/OECD, 2000; WETO-2003; Economía Solar Global, H. Scheer, Galaxia Gutemberg, 2000; La economía del hidrógeno, J. Rifkin, Paidós, 2002.

⁹⁶ Factor 4: Duplicar el bienestar con la mitad de los recursos naturales, E. U. Von Weizsäcker, A. B. Lovins y L. H. Lovins, Informe al Club de Roma, Galaxia Gutemberg, 1997.

⁹⁷ Según el Consejo Mundial de la Energía en su Mensaje de 2002, si mediante la aplicación de las mejores prácticas se pudiera eliminar la significativa brecha existente entre el rendimiento promedio mundial y el de las centrales con los mejores rendimientos, resultaría un ahorro de hasta \$US 80.000 millones por año, en inversiones en nueva capacidad de producción y gastos de explotación, y una reducción de emisiones de CO₂ de 1 Gt por año, más del 4% de las emisiones mundiales en el año 2000.

⁹⁸ WEC-2001, pp. 163 y 164.

⁹⁹ En el número de fin de siglo de la revista Business Week, el concepto ganador de su artículo de fondo "21 ideas para el siglo XXI" no fue ningún invento relacionado con internet o con las industrias ".com". La idea número

uno fue una variante de un concepto del siglo XIX, -la visión de la industria eléctrica de Thomas Edison-, en un sector que ha tenido pocos cambios revolucionarios en tres generaciones. Se trata de la idea futurista de que el suministro de energía pueda acabar siendo en gran parte local o personal, -con el uso de pilas de combustible, módulos basados en energía solar; microturbinas y otros medios locales de producción y almacenamiento de energía-, de la misma forma que los ordenadores personales han sustituido en gran parte al tratamiento centralizado de información. Las tecnologías de microproducción de energía son ahora mucho más limpias, eficientes y silenciosas y pueden escalarse a las necesidades de consumo locales. La utilización del hidrógeno como vector energético podría contribuir sustancialmente en esta transformación. Y, para una gran parte de los 2000 millones de personas que actualmente no tienen acceso a la electricidad, la generación distribuida, -basada en lo posible en energías renovables-, puede ser la mejor opción para que pasen a formar parte del mundo electrificado. Ver Generación eléctrica distribuida, Comité de Energía y Recursos Naturales del Instituto de la Ingeniería de España y Fundación Gas Natural, junio 2003.

¹⁰⁰ Hay resultados recientes muy prometedores acerca de la utilización con éxito de láseres para la transmutación de isótopos de larga vida media en otros de vida media mucho más corta, ver *Journal of Physics*, septiembre 2003.

¹⁰¹ *Spectrum*, Massachusetts Institute of Technology, Summer 2003, www.mit.edu/giving/spectrum.

¹⁰² La ONG Intermediate Technology Development Group (ITDG, Grupo de Desarrollo de Tecnología Intermedia), creada en 1965 y que actualmente emplea cerca de 400 personas, www.oneworld.org/itdg, www.itpubs.org.uk) se especializa en encontrar o desarrollar en cada caso la tecnología más adecuada para casos concretos de cooperación al desarrollo.

¹⁰³ The Challenge of rural energy poverty in developing countries, World Energy Council (WEC), October 1999, www.worldenergy.org; IEA-2002, capítulo 8: Energía y pobreza; A framework for action in energy, Naciones Unidas, WEHAB (Water, Energy, Health, Agriculture and Biodiversity) Working Group, Agosto 2002.

¹⁰⁴ Unos 500 kWh anuales por persona, según WEC-2001, p. 186.

¹⁰⁵ Ver Final report, G8-Renewable Energy Task Force, July 2000; Power to tackle poverty, Greenpeace, November 2001, www.greenpeace.es.

¹⁰⁶ IEA-2001, capítulo 1; CNE y ENERCLUB, Introducción. Es de interés advertir que los recientes procesos de liberalización del sector energético, en muchos países por todo el mundo, están en general consiguiendo que las fuerzas del mercado aumenten la eficiencia del suministro con el consiguiente abaratamiento de los precios. El aumento de la eficiencia del suministro es indudablemente positivo bajo un punto de vista medioambiental, aunque no así la reducción de los precios ya que estimula la demanda. Es preciso que el verdadero coste medioambiental se incorpore al precio a través de la internalización de los costes ambientales, de un impuesto energético o de otros mecanismos.

¹⁰⁷ Este es el mecanismo de incentivación actualmente utilizado en España. Para detalles puede consultarse el Informe sobre las compras de energía al régimen especial, que periódicamente edita la Comisión Nacional de Energía, ver www.cne.es. En el año 2003 el coste adicional en la tarifa eléctrica de la subvención al régimen especial (que incluye tanto a las energías renovables como a la cogeneración) ha sido de 923 millones de euros, lo que supone aproximadamente un 6% del coste medio de la electricidad en España.

¹⁰⁸ Ver *Fiscalidad del Medio Ambiente y Desarrollo Energético*, Ministerio de Hacienda de España, Seminario Internacional, Madrid, Mayo 2001; *Energía, Fiscalidad y Medio Ambiente en España*, Instituto de Estudios Fiscales, Ministerio de Hacienda de España, 2002; *Fiscalidad Ambiental: Análisis y Efectos Distributivos*, Tomás J. López-Guzmán Guzmán, Ecorama, Editorial Comares, 2002; *Desarrollo sostenible y protección del medio ambiente*, José Luis Piñar Mañas (Director), Civitas Ediciones S.L., 2002.

¹⁰⁹ Tiene interés el concepto de gestión de la demanda (Demand Side Management o DSM en la terminología anglosajona) acuñado en los EEUU y que agrupa todas las técnicas y acciones encaminadas a racionalizar el consumo de energía desde el lado del usuario final. Se ha realizado en muchos países un significativo esfuerzo de investigación y desarrollo en estas técnicas para el sector eléctrico, financiado en gran parte por fondos recaudados a través de la propia tarifa. La gestión de la demanda se presenta como un medio eficaz para neutralizar el crecimiento natural del consumo eléctrico sin por ello perder prestaciones en los servicios que proporciona la electricidad, tratando así de reducir y controlar el impacto medioambiental. Se trata, por ejemplo, de sustituir inversiones en centrales de generación eléctrica y horas de producción quemando combustibles fósiles o acumulando residuos radioactivos, por un consumo más eficiente. La gestión de la demanda debería por tanto estar presente de forma muy activa en el futuro de los sistemas de energía eléctrica, como síntoma de que se está tratando de internalizar los costes medioambientales tantas veces ignorados. El papel y la correcta reglamentación de este tipo de actividad son uno de los retos que tendrán que afrontar la nueva organización y regulación del sector eléctrico nacidas del proceso de liberalización. En España la Ley del Sector Eléctrico, -como su predecesora, la LOSEN-, establece que se implanten, con cargo a la tarifa, programas de gestión de la demanda eléctrica y así se hizo, dedicando 5000 millones de pese-

tas anuales, -un 0,25% de la tarifa-, durante 1995, 1996 y 1998. Pero el programa se ha interrumpido desde entonces, pues la autoridad reguladora ha decidido sacrificarlo para reducir la tarifa y por consiguiente la inflación, en un claro ejemplo de la frecuentemente pernicioso interferencia política en la regulación eléctrica.

¹¹⁰ Existen notables excepciones a esta regla. Así, algunos países europeos, -como Dinamarca, Inglaterra y Holanda-, se han adelantado frecuentemente a las disposiciones medioambientales de la Comisión Europea. La actual administración norteamericana tiene un record medioambiental deplorable, mientras que determinados estados han impulsado innovadoras regulaciones medioambientales.

¹¹¹ En la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible de Johannesburgo, en septiembre de 2002, se propuso por Brasil y la Unión Europea que se estableciese un objetivo de desarrollo de las energías renovables a nivel mundial pero, tras intensas negociaciones, no se llegó a un acuerdo que adoptara el establecimiento de las cuotas propuestas. La Declaración Final de la Cumbre, aunque muy positiva respecto a las energías renovables, no pasa de ser una declaración de principios (véase un a nota de pie de página previa), aunque la Unión Europea parece dispuesta a llevarlos unilateralmente a la práctica. Ver Report of the World Summit on Sustainable Development, United Nations, A/CONF.199/20, Johannesburg, South Africa, 26 August-4 September 2002 y también WWI-2003, capítulo 5 y pp. 86, 98-105.

¹¹² Posición Común (CE) no. 9/2003 referente a un programa plurianual de acciones en el ámbito de la energía: Energía inteligente para Europa (2003-2006), (2003/C 64 E/03), aprobada por el Consejo de 3 de febrero de 2003.

¹¹³ Directiva 2001/77/EC de la Unión Europea.

¹¹⁴ Posición Común (CE) no. 9/2003 referente a un programa plurianual de acciones en el ámbito de la energía: Energía inteligente para Europa (2003-2006), (2003/C 64 E/03), aprobada por el Consejo de 3 de febrero de 2003.

¹¹⁵ Desarrollo sostenible y protección del medio ambiente, José Luis Piñar Mañas (Director), Civitas Ediciones S.L., 2002, p. 49.

¹¹⁶ La cita es de H. G. Wells. Ver Los nudos gordianos, Federico Mayor Zaragoza, Galaxia Gutemberg, 1999, p. 153.

¹¹⁷ Sin embargo, más educación no conduce necesariamente a una mayor sostenibilidad. Se trata de una relación compleja. Véase el caso de los EEUU, donde más del 80% de la población tiene al menos alguna formación post-secundaria y un 25% tienen un título universitario de 4 años, y por otro lado el consumo de energía y los residuos generados per cápita son de los más altos del mundo. El desafío es aumentar el nivel de educación sin crear al mismo tiempo una creciente e insostenible demanda de productos de consumo y recursos materiales. Un cierto nivel de educación se necesita para crear trabajos e industrias con menor impacto ambiental y más sostenibles. Ver R. McKeeown, Education for sustainable development toolkit, Energy, Environment and Resources Center, University of Tennessee, 2002, www.esdtoolkit.org.

¹¹⁸ The Earth Charter; <http://www.earthcharter.org>.

¹¹⁹ Ver el capítulo 36 de la Agenda 21 de la Cumbre de la Tierra de Río, 1992: "Promoting Education, Public Awareness and Training". Es el origen de la Educación para un Desarrollo Sostenible (EDS). La Agenda 21 define 4 direcciones principales en las que trabajar en EDS:

- ♦ Mejorar la calidad de la educación básica. Debe centrarse en habilidades, valores y perspectivas que promuevan la participación colectiva en los asuntos globales y de la comunidad local y en fomentar la capacidad crítica y de análisis.
- ♦ Reorientar la educación existente. Incorporar la visión de sostenibilidad, que incluye aspectos económicos, sociales y medioambientales. Esto es especialmente crítico a nivel universitario, pues los líderes y los que toman decisiones son típicamente formados en universidades.
- ♦ Informar y concienciar al público en general. La sostenibilidad requiere que el público esté al tanto (sea consciente) de los objetivos y tenga el conocimiento y las habilidades para contribuir a su realización.
- ♦ Formar en aspectos prácticos, más adaptados para realizar tareas específicas.

¹²⁰ WEC-2001.

¹²¹ WEC-2001, p. 191.

¹²² Es interesante el planteamiento al respecto del Worldwatch Institute en el capítulo 8: Engaging religion in the quest for a sustainable world, por G. Gardner, del libro State of the World 2003, W.W. Norton & Co. 2003.

¹²³ Ver Corporate governance and climate change: Making the connection, D. G. Cogan, Investor Responsibility Research Center (IRRC), Junio 2003, www.irrc.org, www.ceres.org.

¹²⁴ Sesión plenaria sobre "Estrategias de sostenibilidad en la empresa", Congreso Nacional de Medio Ambiente, Madrid, Noviembre 2002. Ver Papeles de la Ingeniería, Boletín de Información del Instituto de la Ingeniería de España, no. 29, Diciembre 2002.

¹²⁵ Generación eléctrica distribuida, Comité de Energía y Recursos Naturales del Instituto de la Ingeniería de España y Fundación Gas Natural, junio 2003.

¹²⁶ Ver, por ejemplo, Federico Mayor Zaragoza, "Los nudos gordianos", Galaxia Gutenberg, 1999, p. 153 y las siguientes referencias de esta sección del documento.

¹²⁷ Peter-Hans Kolvenbach, alocución a la Reunión Internacional de la Educación Superior de la Compañía de Jesús, mayo de 2001.

¹²⁸ Este es precisamente el enfoque que propone el Education for Sustainable Development Toolkit, R. McKeown, Energy, Environment & Resources Center, University of Tennessee, www.edstoolkit.org, pp. 24-26: Se trata del llamado "Strengths model", cuya idea básica es incorporar los temas de ESD ("education for sustainable development") en un currículo existente. Ver también Educar para la solidaridad, L. Sequeiros, Ediciones Octaedro, 1997, p. 14: "El autor de este trabajo no es partidario de incluir una asignatura de educación para la solidaridad dentro del currículo ordinario, aunque sea como asignatura optativa. El mismo criterio mantiene respecto a la educación ambiental, educación sexual o cualquier otra denominación. Consideradas como contenidos transversales deben impregnar el conjunto del currículo educativo. Corresponde a los equipos de profesores decidir el peso específico que estos contenidos transversales deben tener en el desarrollo ordinario del currículo".

¹²⁹ Ver www.ingenieriasinfronteras.org, www.isf.org.

¹³⁰ Ver, por ejemplo, las actividades de la International Association of Universities en www.unesco.org/iau, y las referencias a páginas web que proporciona Education for Sustainable Development Toolkit, R. McKeown, Energy, Environment & Resources Center, University of Tennessee, www.edstoolkit.org, capítulo XV.

¹³¹ Real Decreto 859/1994, de 29 de abril, por el que se crea la Academia de Ingeniería.

¹³² De acuerdo a las más recientes estimaciones de la NASA, ver <http://map.gsfc.nasa.gov> y El País, jueves 13 de febrero de 2003, p. 26.

¹³³ Este ejemplo y algunos de los comentarios posteriores han sido inspirados por el libro La historia más bella del mundo, H. Reeves, J. De Rosnay, Y. Coppens y D. Simonnet, Anagrama, Colección Argumentos, 1997.

¹³⁴ Se trata del denominado periodo Aurignaciano, ver WWI-2003, pp. 3 a 13.

¹³⁵ Esta afirmación, desafortunadamente, no parece ser exagerada. Ver por ejemplo lo que se afirma en GEO-2000: "El mundo está experimentando un cambio cada vez más rápido, y las gestiones ambientales coordinadas en el plano internacional van muy detrás del desarrollo económico y social. Los beneficios ambientales derivados de las nuevas tecnologías y políticas no pueden mantener el ritmo y la escala del desarrollo económico y del crecimiento demográfico. ... El horizonte temporal para emprender importantes iniciativas de política ambiental solía ser bastante amplio. En la actualidad, el tiempo para una transición racional, bien planificada, a un sistema sostenible se está agotando rápidamente. En algunas esferas ya se agotó. ... La continua pobreza de la mayoría de habitantes del planeta y el excesivo consumo que caracteriza a la minoría son las dos causas principales de la degradación ambiental. El actual curso que sigue el mundo es insostenible y ya no es una opción el aplazamiento de la adopción de medidas. Se necesita un liderazgo político inspirado y una intensa cooperación transregional e intrasectorial para poner en marcha los instrumentos normativos existentes y los nuevos". Ver también WEA, p. 26: "La energía puede ser una herramienta poderosa para conseguir un desarrollo sostenible. Redirigir su poder hacia este objetivo superior; sin embargo, requerirá cambios estratégicos importantes dentro de un marco amplio que lo haga posible. ... A no ser que estos cambios tengan lugar en unas pocas décadas, muchas de las oportunidades que ahora existen se habrán perdido, las posibilidades para las generaciones futuras habrán disminuido y el objetivo de un desarrollo sostenible se habrá quedado sin realizar".

¹³⁶ El mundo en la agonía, Círculo de Lectores, Madrid, 1988.

CONTESTACIÓN

EXCMO. SR. D. LUIS-ALBERTO PETIT HERRERA

Excmo. Sr. Presidente,
Excmas. Sras. y Sres. Académicos,
Sras. y Sres.,
Queridos amigos,

En nombre de los miembros de la Real Academia de Ingeniería, y por la deferencia que se me ha otorgado, permítanme que dé la bienvenida a don José Ignacio Pérez Arriaga con motivo de su Ingreso en esta docta Institución. Una bienvenida estatutaria a la que añado la mía, como amigo y compañero. Me felicito de que la vida me depara la ocasión de festejar a un Ingeniero tan lleno de valores como José Ignacio. Pero me agobia mi intervención por cuanto que estamos ante una persona eminente, tal y como van Vds. a apreciar sin duda.

Es un hombre bueno, brillante, cuya sensibilidad, unida a su carácter afable, propicia la generosidad de que siempre hace gala.

Aunque, como decía don Santiago Ramón y Cajal: “es difícil ser amigo de los amigos sin ser algo enemigo de la equidad”, mi criterio no es una estimación subjetiva fruto de esa hermosa parcialidad que es la amistad.

Entiendo que la presentación de Pérez Arriaga se hace por sí sola. La ha hecho él mismo pronunciando su discurso, que es el elemento esencial de esta ceremonia pública y solemne. En todo caso, la objetividad de mi juicio quedará verificada a través de una parcial enumeración del brillante historial de nuestro nuevo compañero.

Tras obtener el título de Bachiller con Premio Extraordinario, José Ignacio pertenece a ese grupo selecto de profesionales que no se conformó con terminar brillantemente sus estudios de Ingeniero Superior Industrial por el ICAI en 1970, donde me cupo el honor de explicarle una de las disciplinas. Su inquietud le llevó al Massachusetts Institute of Technology donde obtuvo su Doctorado en 1981 y el mismo grado en la Universidad Politécnica de Madrid al año siguiente.

Consciente, como dijo Cicerón en *De Finibus*, que “no basta alcanzar la sabiduría sino que es preciso saber usar de ella”, ha utilizado todos sus conocimientos en el campo de la investigación como lo prueba su cincuenta de proyectos de investigación que han dado lugar al desarrollo

de productos de interés industrial, especialmente en el campo del *software* para modelar la operación, el comportamiento dinámico y la expansión de los sistemas eléctricos.

Ha sido Consultor para Entidades públicas y privadas en más de 30 países y Vocal de la Comisión Nacional del Sistema Eléctrico.

En cuanto a su participación en Congresos y Conferencias, ha sido ponente en un largo centenar.

En el orden asociativo es, entre otros, el único “Fellow Member” español en el área de sistemas de energía eléctrica del Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEE) y Preside la ONG “Aula de la Solidaridad, Supervivencia y Cooperación Internacional”.

Tras el paso por Profesor Asociado es —desde el año 1986— Profesor Propio Ordinario de la Universidad Pontificia de Comillas, donde ha sido coordinador del Programa de Doctorado en Ingeniería Industrial e Informática, y ha dirigido diecinueve tesis doctorales, dirigiendo actualmente el Máster en “Gestión Técnica y Económica en el Sector Eléctrico”. Durante un año, ha sido Profesor Visitante del MIT. Ésa su vocación docente le ha llevado a ocupar el Vicerrectorado de Investigación y Postgrado en nuestra Universidad y a fundar y dirigir el Instituto de Investigación Tecnológica, durante diez años, donde trabaja un centenar de titulados, así como a regir la Cátedra BP sobre “Desarrollo Sostenible” y el Curso Anual de Formación de Reguladores Europeos.

Su rigurosa preparación le ha permitido publicar varias obras y multitud de artículos en revistas internacionales.

Conviene señalar que el beneficiario ha dejado constancia en sus trabajos de su carácter abierto y fácil a la disculpa, trascendiendo su respeto a la libertad de cada uno así como su carácter humanístico y humano, en el doble sentido de abarcar la humana cultura y poner énfasis en el respeto y en el conocimiento de los seres humanos. Ésta es la persona definida por esas tres coordenadas, que tanto nos gusta a los geómetras recordar como necesarias para la determinación de un plano sin falsas apoyaturas en el campo ingenieril, en el didáctico y en el humano.

Cargado pues de méritos profesionales y docentes, el nuevo Académico nos llega hoy en un momento de gran madurez en su quehacer.

* * * * *

Quieren los usos académicos que la presentación de un nuevo Académico englobe una contestación a su Discurso.

Mi respuesta pretende ser un complemento de la disertación principal de la que asumo implícitamente aquello que no es objeto de mención. Desde esa acepción deseo que se interpreten mis silencios referentes a cuanto José Ignacio ha expuesto brillantemente al iniciar ésta, su nueva andadura entre nosotros.

Cabría, y yo así se lo sugiero al nuevo Académico, seguir ahondando (y sé que a él le gusta), seguir ahondando –digo– sobre siete puntos de reflexión que me ha sugerido su sapiente Discurso.

La primera reflexión gira en torno a la solidaridad.

No se puede obviar que, dentro de la complejidad de los problemas que plantean el desarrollo y el medio ambiente, los que se refieren a la producción y consumo energéticos, constituyen el vector fundamental para la Sociedad, ya que la energía –que estuvo presente en las grandes mutaciones de la historia– es el oxígeno de la vida económica, en la que existe una bulimia energética y un consumo galopante. Al mismo tiempo, aquélla es especialmente necesaria para las naciones donde su falta conlleva la carencia de alimentación suficiente –ya que los productos agrícolas y ganaderos requieren importantes *inputs* energéticos, igual que conlleva la carencia de agua para la higiene, el riego y la propia existencia. Es decir, que esa falta impide cubrir el primer orden de la “pirámide de necesidades” a que se refiere el sicólogo conductista Abraham Maslow. Por ello tiene que hablarse de un mínimo necesario de energía y, por tanto, de la necesidad de prestarles una “ayuda de energía” –al igual que se dan las ayudas alimentarias–. No en vano, como canta Schiller en su “Oda a la alegría”, que pone letra al último tiempo de la 9ª Sinfonía Bethoveniana; “Alle Menschen werden Brüder”: “Todos los hombres se hacen hermanos”.

Ese deber de solidaridad, de compartir se acrecienta ante el escándalo de un mundo en el que otros países basan su poderío en un consumo sin límites aun a fuer, a veces, de su impacto en aspectos como su balanza comercial.

El desarrollo ecológico –y no una ecología sin desarrollo– merece una segunda reflexión.

Las personas compartimos la biosfera como un espacio interconectado que hemos de mantener en equilibrio con los otros espacios de nuestro mundo, aunque ello pueda suponer determinadas medidas que resultan impopulares a corto plazo. Éstas vienen obligadas como consecuencia de la disminución de la biodiversidad, de la implacable desertización, de las lluvias ácidas, de la contaminación de las aguas, del efecto invernadero, del cambio climático, de la capa de ozono, y de cuanto incide en los indicios que tenemos de una crisis medioambiental a la que tampoco son ajenos los ecosistemas que constituyen las ciudades en que muchos vivimos, tan distintos de los ecosistemas naturales.

Por eso es menester que cada uno actúe con “su mejor tú”, como diría Pedro Salinas, y se profundice en una real interiorización de los costes ecológicos dentro de los de fabricación de los productos o, al menos, se perfeccionen ciertas medidas regulatorias. Y esto, tanto más que son los países ricos quienes, a lo largo de los años, se han venido aprovechando del petróleo barato contrayendo, por tanto, una especie de deuda moral con los demás.

Cada generación recibe el entorno natural como un préstamo y debe devolverlo, tras su uso, en el estado en que lo tomó o mejorándolo, ya que constituye una riqueza vital.

En todo caso, no es admisible que se consuman más recursos no renovables que los que sean sustituibles, quizá con base en técnicas que un día puedan concebirse*.

Ahondar en cómo disminuir el consumo de energía merece una tercera reflexión, ya que si no habrá un incremento cuantitativo para responder, cuando menos, a la citada penuria de los países pobres y a las nuevas necesidades que emanan del crecimiento demográfico.

* No olvidemos que cuando se escriban las primeras páginas de la historia de la energía nuclear aparecerá que el descubrimiento de la radiactividad se debió al mero azar.

Pero, al mismo tiempo, hay que salvaguardar las condiciones medioambientales para que puedan vivir las generaciones futuras, ya que nuestro prójimo puede encontrarse no en la distancia sino en el tiempo.

Para ello, y sin incurrir en un fatalismo energético —coherente con las predicciones alarmistas de un agónico agotamiento de los recursos—, tenemos el deber de reducir los consumos aunque se utilicen —¡ojalá!— energías más respetuosas del medio ambiente.

Como decía Gandhi: “nuestro planeta ofrece a todos los hombres lo que necesitan, pero no lo que codician”. De ahí que sea necesario el uso racional en la vida doméstica, en los transportes, en las fábricas, en la construcción y en las oficinas. Ese uso racional favorece un menor gasto gracias a las posibilidades que, a tal fin, presta la electrónica, la recuperación de calores excedentes en ciertos procesos industriales —como los de las refinerías, las plantas químicas y las acerías—, la reutilización de calorías “in situ” —como en las plantas desalinizadoras—, el aislamiento térmico de las viviendas y muchos otros que propicia la tecnología.

También a los Ingenieros nos afecta una cuarta reflexión: la que se relaciona con la información.

A este respecto se hace necesaria previamente la implantación proyectiva de estructuras que permitan el derecho a una información independiente de los intereses económicos y políticos. Así podremos clarificar conceptos y evitar ideas equivocadas como la de que un crecimiento sin límites conlleva un incremento en el bienestar, cuando —por ejemplo— la antigua Alemania Oriental tenía un ratio de kW/cápita superior al de sus vecinos, pero su renta/cápita era bastante inferior.

Una información —en forma de charlas desde los colegios, de cursillos, de operaciones “puertas abiertas” y patrocinios— que implique un llamamiento a la cohesión social para que cada consumidor cambie de mentalidad y se sienta responsable en su vida privada, en sus decisiones profesionales, en su participación en la vida asociativa y en la vida política, tanto de velar para que pueda ser proporcionada a todos la cantidad de energía necesaria para su vida, como de que se tomen las precauciones debidas para evitar el despilfarro actual.

Esa información tiene que ser verdadera, sintética, responsable y accesible a muchos ya que el saber es el combustible de toda evolución y es necesaria especialmente en este tiempo de grandes rupturas: ruptura tecnológica cuando el cambio deja la línea de la continuidad; ruptura económica como consecuencia de la globalización; ruptura sociopolítica debido a la afortunada aceptación de la tolerancia y, ruptura educativa como consecuencia de la masificación.

Con la información se debe evitar lo que temía Keynes y también Ortega en su *Rebelión de las masas*: que el alud de bienes materiales –decían ellos– iba a tener que convivir con un incremento de incultura colectiva.

Como quinta reflexión, propongo profundizar en la necesidad de I + D, aunque eludiendo caer en un modelo único de desarrollo, sino en sistemas coherentes con cada Sociedad, ya que no todos necesitan los mismos kWh.

Los Ingenieros debemos tener la habilidad de concebir pautas sostenibles de producción y consumo de energía, concienciándonos para anteponer el ser sobre el tener, lo que conlleva buscar incrementos menos energívoros y menos contaminantes ya que hoy no hay tecnología para que todos crezcan como hemos crecido algunos. Como bien decía Sócrates: “nuestro Universo sería una cosa muy limitada si no ofreciera a cada época algo que investigar”. Las actividades I + D deben conseguir la mayor eficiencia de los recursos y el progreso en tecnologías avanzadas, cuyo uso no depende de la geografía del planeta, como son la energía eólica, la solar, la geotérmica, la biomasa o el hidrógeno, aunque los costes de producción de la mayoría son aún comparativamente elevados, debido –a veces– a su desarrollo incipiente y a no cargar las otras energías con los costes ecológicos que generan.

Mención especial merece la discutida energía nuclear. Por el momento falta capacidad para hacer aceptar la tecnología de fisión con sus usos sociales –muy distintos del armamento– y con su seguridad razonable, si ésta se demuestra, por ejemplo, con protocolos de actuación en caso de emergencias, y aunque esto no impida rigurosamente la posibilidad de accidentes cuando –por ejemplo– aún no está totalmente resuelto el tratamiento de residuos radiactivos.

Como hoy por hoy no existe solución técnica para horizonte mayor de 30 o 40 años si se quiere asegurar la trayectoria de un consumo, como

en el que estamos instalados –que se incrementa anualmente– es necesario tener en cuenta los plazos y profundizar más y más en la investigación para no llegar tarde, priorizando debidamente nuestras tareas.

Una sexta reflexión se relaciona con la globalización en que está inmerso nuestro problema.

No estamos ante una de esas situaciones a que aludía Henri Bergson cuando decía: “Il est plus important de bien poser les problèmes que de les résoudre” “es más importante plantear bien los problemas que resolverlos”. En nuestro caso, es necesario entrar a resolver la cuestión con tácticas locales, pero con una estrategia global que, sin duda, modificará el libre juego de los mercados.

Desde esta perspectiva global, se hace necesaria la elaboración, por un Organismo Supraestatal, de una Carta Universal del Medio Ambiente que defina solemnemente el derecho universal al medio ambiente y los derechos derivados que obligan a las personas y a la Sociedad.

Y junto a esto se hace necesario el reforzamiento de órganos ya existentes como el PNUD (Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo) y la creación de un Comité Mundial Permanente del Medio Ambiente que reciba peticiones, realice encuestas, dé orientaciones a los Gobiernos y elabore un Proyecto de Tribunal Internacional del Medio Ambiente.

La última reflexión que propongo se refiere a la esperanza en la humanidad.

Dada la gravedad de los problemas que conlleva la energía así como la aceleración de la crisis ecológica, y que como decía Einstein: “The future of mankind will be what mankind deserves”, “El futuro de la humanidad será lo que la humanidad merezca”, los Ingenieros debemos coadyuvar a una transformación profunda de las mentalidades y confiar en que se sabrá inventar el mundo del mañana encontrando modelos de producción y consumo de energía viables para todos y en el futuro –como define el Informe Brundland– en coherencia, por tanto, con el cuidado que hemos de prestar a la naturaleza, ya que la energía no se puede conceptualizar sólo como un problema tecnológico, puesto que requiere también unos valores humanos que son la única forma de dominar el comportamiento exclusivamente material que los avances tecnológicos inducen y generan.

* * * * *

Éstos son los puntos de reflexión que propongo a José Ignacio seguir ahondando.

Con la medalla nº LI que le va a ser impuesta, así como con el Diploma que le va a ser entregado, se le dará posesión de su plaza.

Quizá te suene hoy con insistencia, en la caracola de tu memoria, el bo-rroso ruido de aquellos días en que te decidiste a especializarte en el tema de los sistemas eléctricos. En esta hora del éxito, me parece justo recordar a quienes propiciaron y han soportado, cuando menos, la tensión que en derredor ocasiona siempre el trabajo. Ellos, especialmente tus hijos y Asunción –tu buenísima esposa– deben tener mención en este acto. Para tu alegría, aquí los tienes hoy contigo, con la guardia de sus afectos presentando armas.

Te expreso nuestro placer extraordinario por tenerte entre nosotros, ya que debes saber que eres recibido con gran afecto y respeto puesto que como dice Cervantes: “tú mismo te has forjado tu ventura”.

La Academia que esta tarde se viste de gala, se honra con tu presencia ya que con tu ingreso se incrementa, si cabe, el prestigio y la dignidad de esta Institución.

* * * * *

No quiero terminar sin invitarte, cordialmente, a que sigas prestando tu esfuerzo y tus saberes a la ingente tarea que supone adecuar la energía al desarrollo sostenible de la Sociedad. La tarea es ardua pero, como decía Antonio Machado:

¿Dices que nada se crea?	¿Dices que nada se crea?
alfarero a tus cacharos,	no te importe, con barro
haz tu copa y no te importe	de la tierra haz una copa
si no puedes hacer barro.	para que beba tu hermano.

En nombre de la Real Academia de Ingeniería, y en el mío propio, te doy la bienvenida en su seno.

Muchas gracias.