



DEBATES INTERNOS

UN RETO DEL SIGLO XXI: LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA

Amando García Rodríguez



CÁTEDRA
DE EMÉRITOS

de la Comunidad Valenciana



DEBATES INTERNOS

UN RETO DEL SIGLO XXI: LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA

Amando García Rodríguez

Edita: ©



FUNDACIÓN DE ESTUDIOS AVANZADOS

de la Comunidad Valenciana

Fundación Valenciana de Estudios Avanzados

Autor:

© Amando García Rodríguez

Coordinan:

Vicente López Merino

Concha Albalat Criado

Salvador Aldana Fernández

Antonio Alegre Cremades

I.S.B.N.: XX-XXX-XXXX-X

D. L.: X-XXXX-XXXX

Maquetación e impresión:

Gráficas Antolín Martínez. s.l.

Tel. 96 391 89 84 - www.grafamar.com

UN RETO DEL SIGLO XXI: LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA

1. INTRODUCCIÓN

La energía es uno de nuestros conceptos más familiares. La gente habla con frecuencia de la energía que despliegan los niños, de la energía producida por el sol, de la energía de los vientos o de los volcanes. Todos tenemos una idea más o menos aproximada sobre la naturaleza, las características o la cuantía de la energía asociada a un automóvil en marcha, al péndulo de un reloj mecánico, o a la explosión de una bomba nuclear. En cualquier libro de termodinámica, podemos leer que la energía de un sistema representa su capacidad de realizar trabajo. De acuerdo con la mecánica relativista, la energía de un cuerpo equivale al producto de su masa por el cuadrado de la velocidad de la luz en el vacío.

La energía es todo eso y mucho más. La energía es calor, luz, electricidad y capacidad de realizar trabajo. La energía es también materia. Esta última faceta es precisamente la que nos permite afirmar que energía es la esencia última del universo. Sin embargo, el conocimiento de este hecho y sus implicaciones es muy difícil de comprender para el hombre de la calle. Desde el punto de vista práctico, es mucho más importante que todos seamos conscientes de que la energía es, en última instancia, lo que permite producir los alimentos que consumimos, lo que nos facilita el transporte de un lugar a otro, o lo que proporciona unas elevadas cotas de confort a nuestros hogares. En realidad, la energía tiene un papel capital en las sociedades desarrolladas. Sin la disponibilidad de energía no se podría edificar nuestras viviendas, fabricar los muebles y utensilios que necesitamos, utilizar los modernos medios de transporte, producir la mayoría de nuestros alimentos, editar un libro o

un periódico, escuchar la radio, ver la televisión o hablar por teléfono, entre otras muchas actividades ligadas a nuestra vida cotidiana.

Cuando el suministro de energía está en peligro, todo lo que depende de dicho suministro está también en peligro. No sólo nuestra forma de vida, sino la vida misma. En cierto sentido, podríamos considerar incluso que la pobreza, el hambre o la escasez de agua, presentes en unas u otras regiones del planeta, están relacionadas con las dificultades en el suministro de energía. Ahora bien, este suministro debe llevarse a cabo sin perjudicar los grandes sistemas naturales de la Tierra de los que depende el balance energético y el clima, y sin dañar en lo más mínimo a la biosfera de la que el propio hombre forma parte.

El temor a la escasez de la energía ha dominado la historia mundial durante estas últimas décadas. Este temor se agravó considerablemente a raíz de los trabajos del Club de Roma. Sin embargo, es interesante recordar que, a lo largo de la historia, el temor a la escasez de energía ha llevado siempre a la búsqueda de nuevos recursos, que siempre se han encontrado. En un tiempo, la fuente de energía predominante fue el carbón (sustituyendo a la madera). Más adelante, apareció el petróleo. A continuación, llegó la energía nuclear. Tal vez en un futuro, las fuentes predominantes sean las renovables, encabezadas por la energía solar. El hombre ha pasado así sucesivamente de una fuente de energía a otra, de la misma forma que ha evolucionado de una civilización a otra.

Para entender mejor esta situación, bastará recordar los profundos cambios que ha experimentado la humanidad a lo largo del último siglo y medio de su historia y el importante papel de la energía en el mundo moderno. En 1850, la energía que consumía el hombre procedía en gran parte de sus propias manos y de la ayuda ocasional que le prestaban algunos animales de labor. Siglo y medio más tarde, la situación ha experimentado un vuelco total: más del 95% de la energía que consume hoy en día la humanidad es de origen mecánico

Vamos a estudiar con mayor detenimiento esta cuestión, refiriéndonos en particular a los sistemas de transporte y su evolución temporal. A lo largo de la casi toda la historia de la humanidad, las personas no han contado con

otra cosa que sus propios músculos para transportarlos o, si acaso, con la ayuda de algunos animales. Tengamos en cuenta, por ejemplo, que, hasta bien entrada la Edad Media, todas las necesidades de la vida diaria podían ser cubiertas con recursos que se encontraban al alcance prácticamente inmediato de todos sus habitantes. Los mercados, los lugares de trabajo y las viviendas estaban agrupados en espacios relativamente pequeños, fácilmente accesibles para todos. Las ciudades eran prácticamente autosuficientes, y cubrían todas sus necesidades de alimentos recurriendo a las cosechas que se obtenían en los campos más próximos o, a lo sumo, procedían de lugares que podían alcanzarse con relativa facilidad viajando con animales y carros durante un par de días.

Más tarde, el hombre supo encontrar nuevas fuentes de energía y utilizarlas para facilitar su transporte. A medida que los sistemas de transporte fueron desarrollándose, el tamaño de las ciudades fue creciendo. En una fecha tan tardía como 1830, los aprovisionamientos de las poblaciones situadas en los alrededores de Londres tenían que ser realizados por medios de tracción animal o estaban limitados a la producción de los campos más próximos. Los nombres de estas poblaciones son los que hoy leemos a lo largo de las líneas de metro, que transportan en pocos minutos a los miles y miles de personas que se mueven cada día de un extremo a otro de esta gran área metropolitana. .

En la actualidad, la abundancia de energía proveniente del petróleo ha hecho posible que los productos básicos puedan ser transportados a lo largo de distancias de miles de kilómetros, por carretera o ferrocarril, en muy pocos días. Los barcos permiten acceder a todo el mundo a las zonas ricas en materias primas, alimentos o pesca. Ciertos artículos de lujo no desdénan incluso el uso del avión para su transporte de lugares de producción a lugares de consumo alejados entre sí miles de kilómetros. Los modernos sistemas de refrigeración (basados en el consumo de energía) permiten conservar adecuadamente estos suministros. Una medida del enorme cambio que se ha producido en este sentido lo da el hecho de que una tonelada de petróleo proporciona la misma energía que la que producirían durante una

hora 16.000 caballos. Un par de camiones modernos podría sustituir a todo el sistema de transporte con el que contaban algunas de las ciudades más grandes del mundo hace tan sólo un par de siglos.

Con todos los matices y consideraciones que podamos introducir al tratar este tema (desde diferentes perspectivas políticas o sociales), nadie puede negar que la energía es un factor fundamental en el mundo moderno. Cocina nuestros alimentos, hace funcionar nuestros diferentes sistemas de transporte, calienta o enfría nuestros hogares y mantiene la actividad de un número incalculable de industrias y servicios. En términos generales, podemos afirmar que la energía contribuye de forma sustancial al bienestar y calidad de vida de las personas.

El importante papel desempeñado por la energía en la primera revolución industrial es un hecho bien conocido por todos. Junto con otros factores, no hay duda de que la disponibilidad de energía abundante y barata (fundamentalmente, carbón) proporcionó en aquel tiempo las condiciones necesarias para que se produjera dicha revolución en ciertos países de Europa o los Estados Unidos.

Saltando a una época mucho más cercana, resulta también evidente que la disponibilidad de cantidades ingentes de energía a bajo precio fue uno de los elementos decisivos en el desarrollo de las economías occidentales durante los años cincuenta y sesenta. La gran estabilidad de los precios del petróleo y su competitividad frente a otras fuentes de energía motivaron un crecimiento enorme en la demanda de este combustible, tanto en términos absolutos como relativos. Concretamente, en los países de la O.C.D.E., el petróleo constituyó el 39% de la energía consumida en 1960 y el 53% de este total en 1970. En algunos casos concretos, el aumento del consumo del petróleo adquirió el carácter de verdadero despilfarro. En general, la demanda de energía en los países desarrollados creció a un ritmo muy superior al de sus respectivos productos interiores brutos.

A finales de 1973 se produjo una verdadera convulsión en esta situación. Bruscamente, los países productores y exportadores de petróleo multiplicaron por cuatro el precio del crudo. Esta medida vino acompañada por la aplicación de determinados embargos parciales como arma política

(es importante recordar que en Octubre de dicho año estalló la guerra entre Israel y los países árabes). Como es natural, el aumento del precio del petróleo repercutió directamente en el precio de otras fuentes de energía. Se inició así una importante crisis energética.

Entre otras consecuencias, la crisis de la energía puso de manifiesto la gran fragilidad de los esquemas de producción y consumo de energía imperantes hasta ese momento en la casi totalidad de los países industrializados. Dada la incidencia directa que el coste de la energía tiene sobre los precios de muchos productos, el alza de los precios del petróleo provocó situaciones inflacionistas importantes en los países desarrollados. La canalización de recursos financieros considerables hacia los países productores y exportadores de petróleo, sin que tuvieran lugar las necesarias contrapartidas en la demanda de bienes y productos por parte de estos últimos países, tuvo una fuerte repercusión sobre las balanzas comerciales de los países importadores de crudo y generó grandes desequilibrios económicos en todo el mundo.

En vista de esta situación, fueron muchos los países que comenzaron a plantearse seriamente la necesidad de llevar a cabo un reajuste global de sus economías y pautas de crecimiento. En ciertos casos, se pusieron en vigor algunas medidas puntuales destinadas a reducir sensiblemente los consumos energéticos (restricciones del tráfico, cortes en el suministro eléctrico, etc.). En un sentido más general, se puso de manifiesto la necesidad de esforzarse en buscar modelos de crecimiento menos intensivos en energía. Se empezaron a tomar en consideración seriamente las previsiones calificadas hasta ese momento como pesimistas, y que vaticinaban dificultades muy serias a finales del siglo XX si no se corregían de forma significativa las pautas seguidas normalmente hasta entonces. Concretamente, se hizo patente la necesidad de restringir al máximo el consumo de petróleo e introducir nuevas fuentes de energía a medio plazo. En cualquier caso, la reducción del consumo energético planteó la necesidad de establecer políticas restrictivas en la demanda y, como consecuencia, generó un crecimiento importante en los niveles de desempleo en muchos países industrializados.

Sin embargo, hay algo en toda esta situación que no se entiende muy bien. Si todos somos conscientes de que en el mundo existe una inmensa cantidad de recursos energéticos, directamente a nuestro alcance o sen-

cillamente potenciales, ¿por qué seguimos hablando del problema de la energía?

Hay tres razones para ello. La primera es que estos recursos necesitan ser extraídos, transportados y convertidos en energía utilizable. Independientemente de su elevado coste, todos estos procesos y la utilización de estos combustibles (esta afirmación se refiere específicamente a los llamados combustibles fósiles, es decir, al carbón, petróleo y gas natural) generan residuos indeseables, que cada vez producen mayores problemas y que la mayoría de las veces son nocivos.

La segunda razón se refiere a la cuantía actual de nuestras necesidades de energía y a sus tasas de crecimiento, un hecho de la mayor importancia en el tema que nos ocupa, y sobre el que volveremos más adelante.

La tercera razón es una consecuencia de la anterior. Los recursos a los que estamos refiriéndonos están muy desigualmente repartidos en el mundo. Por lo tanto, asegurar su aprovisionamiento en cualquier circunstancia es un tema del máximo interés para todos, especialmente para aquellos países que no cuentan con suficientes recursos propios.

Aunque la situación actual no es tan dramática como lo fue en la época a la que nos hemos referido anteriormente (principios de los años setenta) y se han producido muchos cambios en varios sentidos durante estas últimas décadas, no es posible negar que, en términos generales, las condiciones que definieron la crisis energética descrita persisten en la actualidad. Es evidente que no estamos ante una crisis de carácter coyuntural o cíclico, sino ante una crisis muy grave y profunda (tanto si queremos reconocerlo como si no), cuyas características más importantes intentaremos analizar con detenimiento a continuación, aportando algunos datos significativos sobre este problema.

2. PRODUCCIÓN Y CONSUMO DE ENERGÍA

Desde el inicio de la Revolución Industrial, la demanda de energía no ha cesado de crecer en todo el mundo, y todas las previsiones indican que seguirá creciendo en el futuro. Hoy en día consumimos cuatro veces más energía que hace cuarenta años. Además, al consumo de los países industrializados se va sumando la demanda de los países del Sur, que necesitan

elevar su nivel de vida. Esta situación contrasta muy claramente con el hecho de que la producción y el consumo de energía, tal como vienen realizándose en la actualidad, son los principales causantes de la degradación de nuestro medio ambiente.

Aunque sea a un nivel puramente intuitivo, todos tenemos la percepción de que las necesidades de energía de nuestro mundo moderno son enormes. En este apartado vamos a tratar precisamente de esta cuestión, aportando algunos datos relevantes. Sin embargo, nos ocuparemos sobre todo de estudiar los diferentes recursos o fuentes de energía con que la humanidad cuenta para atender tales necesidades. Sabemos que el carbón, el petróleo y el gas natural son las bases de nuestra sociedad industrial, pero somos conscientes de que estos recursos están desapareciendo a un ritmo muy rápido. En los últimos treinta años el consumo de carbón en el mundo casi se ha duplicado, en tanto que el consumo de petróleo se ha multiplicado por diez y el del gas natural por veinte (cifras aproximadas). En consecuencia, la cuestión de cuánto tiempo pueden durar todos estos recursos es de una enorme importancia.

Muchas personas son optimistas acerca de las alternativas potenciales a los combustibles fósiles. Las bases para ese optimismo son diversas. Por ejemplo, sabemos que nuestro planeta cuenta con inmensos recursos hidrológicos. Existen importantes cantidades de petróleo en arenas bituminosas, prácticamente sin explotar. Se puede también extraer energía del sol, del viento, de las olas del mar, del interior de la tierra. Otra posibilidad es convertir los desechos orgánicos en gas metano. La energía nuclear es otra alternativa, aunque ésta se presenta llena de incertidumbres. Finalmente, se cuenta con la promesa de la energía de fusión, es decir, el mismo tipo de energía que se produce al explotar una bomba de hidrógeno, aunque controlada en este caso con fines pacíficos.

Sin embargo, cuando se toman en consideración los diversos recursos de energía de la Tierra es necesario ir mucho más allá de las consideraciones sobre su magnitud absoluta, o su potencial teórico en el caso de que se pudieran desarrollar las técnicas necesarias para lograr su utilización. La disponibilidad práctica de energía está limitada por muy complejas restric-

ciones de carácter geográfico, político, económico, social y técnico. El hecho de que Rusia, por ejemplo, posea más del 60% de las reservas mundiales de carbón y que en Oriente Medio esté localizado un porcentaje similar a éste de las reservas mundiales de petróleo son datos importantes a considerar cuando se diseñan las pautas de consumo de estos combustibles en el futuro. En otras palabras, la existencia de un recurso dado no supone que éste sea asequible a todos. El reconocimiento del potencial de la energía nuclear no supone, ni mucho menos, la posibilidad de construir centrales nucleares totalmente seguras.

En el año 2000, el consumo mundial de energía ha sido del orden de 20.000 millones de toneladas equivalentes de carbón (Tec). Esta unidad práctica se suele utilizar para expresar los datos de producción o consumo de energía en relación con cualquier tipo de fuente energética. La cantidad citada (cifra obtenida por extrapolación a partir de datos correspondientes a años anteriores) equivale a todo el carbón que cabría en un depósito cúbico de unos 2.200 metros de lado lleno de este combustible fósil. Expresado en otros términos, podemos afirmar que cada habitante del planeta Tierra ha consumido durante el año pasado unas tres toneladas equivalentes de carbón (aproximadamente).

Sin embargo, en este sentido, las diferencias existentes entre los países desarrollados y los no desarrollados son enormes. Es importante recordar que, en general, existe una correlación muy clara entre los consumos de energía de un país y su producto interior bruto. Por ejemplo, en los países de Europa occidental se consumen de 5 a 10 Tec por habitante y año, en tanto que en muchos países de África o Asia apenas se llega a las 0'3 Tec por habitante y año.

El caso de los Estados Unidos merece una mención aparte. Su consumo anual de energía es del orden de 30 Tec por habitante, es decir, un valor diez veces superior al valor medio mundial. Vale la pena insistir en el hecho de que en un país donde reside sólo un 3% de la población mundial, se consume el 30% de la energía que se produce en todo el mundo (cifras aproximadas). En particular, el precio de la gasolina en los Estados Unidos es actualmente

del orden de 1'5 dólares por galón, es decir, unos 30 céntimos de euro por litro. Como es natural, este precio (increíble para los europeos) no refleja ni remotamente el coste que representa asegurar los correspondientes suministros (por ejemplo, en gastos militares), los desequilibrios que originan las importaciones de crudo sobre la balanza de pagos, los daños que provocan los gases emitidos en su combustión sobre la salud de las personas y los bienes, ni mucho menos, los efectos sobre el medio ambiente a largo plazo. La reducción del consumo de combustibles fósiles en el mencionado país, con la consiguiente reducción en la emisión de agentes contaminantes a la atmósfera, obligaría a un replanteamiento muy drástico de toda su política de transporte, cuyas repercusiones sociales y económicas serían sin duda alguna extraordinariamente importantes. Y esto es sólo un ejemplo de lo que podría ocurrir en otros casos.

Por supuesto, los datos y comentarios anteriores no deberían hacernos olvidar la existencia de enormes diferencias en el consumo de energías de los habitantes de un mismo país. Alguien se ha referido a este tema hablando de "abstemios" por obligación y "borrachos" energéticos. Las diferencias en el nivel de vida repercuten fuertemente en las cifras de consumo individual (transporte, aire acondicionado, etc.). En este sentido, nos limitaremos a dar sólo un elemento de reflexión: cada pasajero del avión Concorde, en un vuelo de París a Nueva York (con una duración de poco más de cuatro horas) consumía los 2/3 de la energía que le correspondía como miembro de la comunidad mundial para todo un año. El hecho de que este modelo de avión ya no esté en servicio en la actualidad no resta ni un ápice de dramatismo a las cifras que acabamos de mencionar.

Un factor clave de esta discusión se centra en el crecimiento experimentado durante estas últimas décadas por el consumo mundial de energía y sus posibles repercusiones futuras. A principios del siglo XX, este consumo aumentaba a razón de un 3% anual (como consecuencia del proceso de rápida industrialización de los países occidentales). Entre 1910 y 1950, el crecimiento fue del 2% anual. Las diferencias existentes entre unos países y otros de todo el mundo se pueden explicar fácilmente en función de las

condiciones específicas en que dichos países se encontraban en aquella época. Sin embargo, a partir del año 1950, el consumo energético se dispara y se produce un crecimiento del 5% anual (siempre a escala mundial). ¿Qué significan esta cifra? Sencillamente, que, en los últimos tiempos, el consumo mundial de energía se ha duplicado cada quince años.

Estos datos son aterradores. Y lo son porque, hoy por hoy, este consumo se cubre básicamente mediante el uso de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural). El hecho de que las reservas mundiales de estos combustibles sean enormes (aunque con una distribución muy irregular) no debería de parecernos un elemento suficientemente tranquilizador si tenemos en cuenta que, en todo caso, se trata de existencias limitadas, es decir, no renovables.

Dada su importancia, vamos a insistir un poco más sobre esta cuestión. Se ha estimado que la humanidad, a lo largo de toda su historia, ha consumido un 30% de las reservas de carbón y un 15% de las reservas de petróleo de todo el mundo. Ciertamente, cuando lo expresamos en estos términos, el problema no parece revestir demasiada gravedad. Sin embargo, el significado de estas mismas cifras adquiere una dimensión mucho más preocupante cuando las contemplamos desde otros puntos de vista. Por ejemplo, podríamos recordar que el consumo de carbón entre los años 1950 y 1980 (sólo tres décadas) fue mucho mayor que en toda la historia de la humanidad hasta entonces. En el caso del petróleo, los datos con que contamos son todavía más espectaculares: entre 1960 y 1970 (es decir, en una década) se consumió más petróleo que durante los 100 años anteriores, es decir, desde el descubrimiento de este combustible en el año 1859.

En cualquier caso, la tasa de aumento del consumo de energía es mucho mayor que la del crecimiento demográfico, lo cual conlleva por supuesto un claro aumento de lo que podríamos llamar “bienestar energético” de la humanidad en su conjunto. Por descontado, hemos de insistir de nuevo en el carácter general de esta afirmación y en la falacia que puede suponer el dejar a un lado en todos estos razonamientos cualquier tipo de consideración relativa a los fuertes desequilibrios existentes en la distribución de este

bienestar a escala mundial.

En la actualidad, el incremento más importante en el consumo de energía se produce en los países en vías de desarrollo. Con el fin de aumentar su nivel de industrialización, elevar sus actuales niveles de vida y afrontar su considerable crecimiento demográfico, muchos países en vías de desarrollo han aumentando considerablemente su consumo de energía durante estos últimos años (en este sentido, destacan sobre todo China, India o Méjico). Para ilustrar este hecho con cifras, nos parece interesante recordar, por ejemplo, que en el periodo 1980-1985, la población de los países en vías de desarrollo aumentó en un 11%, mientras que su consumo de energía lo hizo en un 22%. En el mundo industrializado, estos aumentos fueron del 3% y 5%, respectivamente.

Un elemento adicional de información muy importante se refiere a la forma en que ha evolucionado la utilización de unas fuentes de energía u otras a lo largo del tiempo. Por ejemplo, en 1900, el 94% de la energía consumida era carbón y tan sólo un 4% correspondía al petróleo. En 1940, el 75% de la energía consumida procedía del carbón, el 18% del petróleo y el 5% del gas natural. Finalmente, en 1980, la distribución había cambiado de nuevo: el 30% de carbón frente al 48% de petróleo y el 19% de gas natural. En ese mismo año, la aportación conjunta de la energía hidráulica y nuclear apenas llegaba al 3%. Por supuesto, esta evolución no es un producto de la casualidad, sino una consecuencia directa de imperativos económicos muy fuertes, descubrimiento de nuevos yacimientos, alteraciones en la demanda, innovaciones tecnológicas, etc.

Para concluir este apartado, nos parece interesante reproducir aquí algunos datos relativos al consumo de energía en España, correspondientes al año 1998. En dicho año, el consumo de energía primaria en nuestro país ascendió a unos 114 millones de toneladas equivalentes de petróleo (es decir, más de 300.000 toneladas cada día). La fuente de energía más importante corresponde al petróleo, con un 54% de dicho total. A continuación, se sitúan el carbón (16%), la energía nuclear (13%) y el gas natural (10%). En su conjunto, las energías renovables contribuyen con algo más del 6% a la citada cantidad.

3. LOS COMBUSTIBLES FÓSILES

Hasta ahora hemos presentado una visión general del problema de la energía (consumo y producción), tanto a escala mundial como de nuestro país. Nuestra intención es proporcionar ahora alguna información adicional sobre las fuentes de energía más significativas, con el fin de que podamos comprender mejor la situación actual y las perspectivas futuras de dicho problema. Por razones metodológicas, agruparemos las fuentes de energía en tres grandes grupos: los combustibles fósiles, la energía nuclear y las energías renovables.

El carbón es un combustible fósil formado por los restos de la vida vegetal. Es, con gran diferencia, el combustible fósil más abundante. El origen de la hulla se sitúa a mediados de la era Paleozoica (concretamente, en el denominado periodo Carbonífero), hace unos 300 millones de años. Los depósitos posteriores, producidos en la época del Cretáceo y el Terciario, son el origen de los actuales lignitos y carbones grises.

En la época en que se formó el carbón, el clima de la Tierra era cálido y húmedo y el nivel de dióxido de carbono en la atmósfera era probablemente mayor que en la actualidad. Estas condiciones favorecieron el crecimiento de enormes masas vegetales. Las características del carbón vienen determinadas por los tipos de vegetación que lo han originado y los procesos geológicos subsiguientes que han intervenido en su formación. Su composición varía considerablemente de unos yacimientos a otros. Su contenido en carbono varía entre el 85 y 95%. Otros componentes son el hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y azufre.

Las propiedades de los diferentes carbones determinan sus posibles usos (calefacción, industria siderúrgica, etc.). Muchos de estos usos dependen de la cantidad de azufre que contienen (la riqueza en este elemento es del orden del 0'8%). Cabe recordar que la combustión de carbón con un elevado contenido de azufre produce importantes problemas de contaminación del aire.

A lo largo del tiempo, se han llevado a cabo muchas estimaciones sobre la cuantía de las reservas de este combustible en todo el mundo. Las

cifras varían considerablemente de unas fuentes a otras. Algunas de estas estimaciones hablan de una cantidad del orden de 15 billones de toneladas métricas. La mayor parte de estos recursos se encuentran en Rusia (55%), seguida por Estados Unidos (27%), Asia (9%) y Europa (5%). No es fácil estimar qué proporción de estos recursos es explotable. Esto depende fundamentalmente de las condiciones económicas bajo las que tenga lugar la extracción. Por ejemplo, si los costes de explotación son elevados, está claro que sólo se extraerá el carbón que resulte más accesible.

Cuando muchos creían que el carbón estaba a punto de pasar a mejor vida, nuevos desarrollos tecnológicos están permitiendo que esta fuente de energía mantenga toda su vigencia. Concretamente, el carbón cubre hoy en día el 25% del consumo energético mundial.

Sin embargo, la energía producida a partir de la combustión del carbón es la menos aconsejable desde el punto de vista medioambiental, dado que este material produce, por unidad de energía producida, un 17% más de dióxido de carbono que el petróleo y un 43% más que el gas natural. La combustión de este combustible fósil es la principal responsable del vertido a la atmósfera terrestre de ingentes cantidades de gases contaminantes (óxidos de carbono, nitrógeno y azufre). Afortunadamente, en la actualidad, el panorama en este sentido ya no es tan alarmante como lo era hace unos años, gracias al desarrollo de nuevas tecnologías para su combustión (por ejemplo, el llamado ciclo combinado de gasificación integrada), que eliminan grandes porcentajes de estas emisiones, al tiempo que aumentan los rendimientos energéticos de la combustión.

En el año 2000, la producción mundial de carbón ha sido del orden de 5.000 millones de toneladas (se trata de una estimación obtenida por extrapolación a partir de datos reales). Algunos especialistas han estimado que, con las tasas de consumo y las técnicas de extracción actuales, las reservas mundiales de carbón podrían durar, al menos, 250 años. El descubrimiento de nuevos yacimientos y los posibles avances en las correspondientes técnicas de producción podrían elevar este plazo en una cuantía muy importante, tal vez hasta los 1.500 años.

Naturalmente, las cosas son bastante más complejas en la realidad.

Basta contemplar los problemas de la minería en Europa para entenderlo. El contexto económico y social, las presiones medioambientales, y la desviación del consumo hacia otras fuentes de energía más asequibles son factores determinantes a la hora de intentar predecir el futuro de este combustible.

.

La palabra petróleo (literalmente, aceite de roca) se utiliza en la actualidad para designar una gran variedad de hidrocarburos, desde el metano o gas natural hasta los líquidos de variada viscosidad y las parafinas sólidas. El origen y las secuencias de formación del carbón y el petróleo tienen muchos puntos en común, aunque presentan también importantes diferencias. Una de estas diferencias se refiere a la temperatura a la que se encuentran los respectivos yacimientos. Cabe recordar que muchas sustancias petrolíferas se descomponen a temperaturas tan bajas como 150° C. Esto hace que existan muy pocos yacimientos petrolíferos a profundidades superiores a los 7.000 metros, dado el aumento de la temperatura asociado con la profundidad.

La extracción del petróleo utilizando únicamente la presión natural de los yacimientos se conoce con el nombre de extracción primaria. En un tiempo, los pozos se abandonaban cuando este flujo natural concluía, aunque pronto se descubrió que la inyección de gas o de agua bajo presión permitía prolongar la explotación (extracción secundaria). Con todo, la extracción de crudos viscosos en rocas de baja porosidad es muy poco eficiente, con tasas que apenas superan el 20%. Hoy por hoy, aun bajo condiciones óptimas, las tasas de extracción de las explotaciones petrolíferas raramente llegan al 60%.

El dato anterior dificulta extraordinariamente la realización de estimaciones precisas sobre las reservas petrolíferas existentes en el mundo. Por supuesto, éstas pueden variar en la medida en que se descubran nuevos yacimientos o se desarrollen nuevas técnicas de extracción de crudo. Las estimaciones más fiables (incluyendo tanto las reservas probadas como las posibles) nos proporcionan unas cifras del orden de los 2.000 millones de barriles, es decir, unos 270.000 millones de toneladas métricas (recuérdese que 1 barril de petróleo equivale a 137 kilos).

Los principales yacimientos se encuentran en Arabia Saudí (23% del

total), Rusia (12%), Kuwait (10%), Irán (9%), Irak (5%) y Estados Unidos (5%). En Europa son destacables las reservas del Reino Unido (2%) y Noruega (1%).

Nuestra actual dependencia de los crudos petrolíferos, de los que luego se obtienen por refino una gran cantidad de combustibles y productos químicos, es absoluta. Como es natural, las cifras de consumo resultan especialmente elevadas en los países más industrializados. Desde que en 1959 el consumo de petróleo superara al de carbón, nuestra "adicción" por este combustible fósil no ha hecho más que crecer. Hoy en día, el petróleo cubre más del 40% del consumo total de energía en el mundo.

Algunos cálculos realizados al respecto hace algunos años indicaban que, al ritmo actual de consumo, las actuales reservas explotables existentes en el mundo se agotarían a mediados del presente siglo XXI. Por supuesto, esta estimación puede modificarse un tanto en función de que se desarrollen nuevas técnicas de extracción o se descubran nuevos e importantes yacimientos (por ejemplo, en el Ártico). En todo caso, el hecho de que un recurso cuya formación ha necesitado muchos miles de años sea consumido por la humanidad en apenas un par de siglos nos parece particularmente inquietante.

El tercer gran combustible fósil es el gas natural, que se suele encontrar asociado a los yacimientos de petróleo. La composición del gas natural es muy variable, aunque su componente principal es el metano (CH_4), que se encuentra en proporciones entre el 85 y 95% del total. El resto es etano, propano y butano. El helio, hidrógeno, y otros gases raros como el argón, están también presentes.

Hasta hace no muchos años, la extracción del gas natural asociado con el petróleo planteaba muchos problemas y dicho gas no se utilizaba. Simplemente, el gas se quemaba en las propias explotaciones de extracción (grandes antorchas), desperdiciándolo por completo. En la actualidad, aunque la situación descrita aún se mantiene en algunos casos, el gas se comercializa.

Se ha estimado que los recursos mundiales de gas natural son del orden de los 70 billones de metros cúbicos, cantidad equivalente a unos 60.000 mi-

llones de toneladas de petróleo. La distribución de este combustible es muy desigual en el mundo. Los principales yacimientos de gas se encuentran en Rusia (32%), Irán (13%), Estados Unidos (10%), Argelia (9%), Abu Dhabí (8%), Holanda (4%), Arabia Saudí (2%), Reino Unido (2%) y Canadá (2%).

En la actualidad, los Estados Unidos son el primer productor mundial de gas natural, con un 33% del total, seguido por los territorios que constituyeron durante algún tiempo la Unión Soviética, con un 30%.

Los principales consumidores de este gas son los países más desarrollados. Concretamente, en los años 80, los Estados Unidos consumían más del 50% de la producción mundial de este combustible fósil. Hace ya algún tiempo se predijo que las reservas de gas natural existentes en el mundo se agotarán en unos 250 años. Sin embargo, esta estimación hay que tomarla con mucha cautela, puesto que está ligada a las tasas de consumo, que pueden variar apreciablemente en función de la disponibilidad de otros combustibles fósiles (petróleo). Como es natural, el factor económico (precio) juega un papel fundamental en estas estimaciones.

En particular, la estimación anterior resulta muy poco realista si tenemos en cuenta que el gas natural ha alcanzado durante estos últimos años una enorme importancia dentro del conjunto de recursos energéticos del planeta, hasta el punto de que, en la actualidad, este combustible fósil cubre el 20% del consumo energético mundial. De hecho, el gas natural está asumiendo el papel de “energía de transición” desde los combustibles fósiles hasta los sistemas de producción de energía menos agresivos para el medio ambiente.

Desde el punto de vista medioambiental, es importante recordar que el gas natural es mucho más limpio que los otros combustibles fósiles. Contiene, por unidad de energía producida, un 43% menos de carbono que el carbón y un 26% menos que el petróleo, lo que se traduce en una producción sensiblemente menor del dióxido de carbono vertido a la atmósfera. Por otro lado, en la combustión de gas natural apenas se producen óxidos de azufre.

4. LA ENERGIA NUCLEAR

Desde su entrada en la escena energética, hace ya más de 40 años, la energía nuclear no ha dejado de suscitar polémicas y recelos. En el mundo hay, en la actualidad, más de 400 reactores nucleares repartidos por una veintena de países, que proporcionan el 6% del consumo energético mundial. Como gran ventaja de este tipo de instalaciones, se puede argüir que no contribuyen al cambio climático, puesto que en las centrales nucleares no se genera dióxido de carbono. Sin embargo, sus peligros han quedado claramente demostrados en diversos accidentes, de mayor o menor gravedad, el más importante de los cuales es el que sucedió en la planta de Chernobyl, en la Unión Soviética, en el año 1986. La producción de residuos en las minas en las que se extrae el uranio, la contaminación del agua y el transporte y almacenamiento del combustible y de los residuos nucleares son, entre otros, motivos de su rechazo.

Como es bien sabido, en una central nuclear, los núcleos del combustible nuclear (generalmente uranio-235) sufren un proceso de fisión nuclear, dando lugar a otros núcleos más ligeros y diferentes partículas y radiaciones. En este proceso de fisión se produce una cantidad muy grande de energía, del orden de 200 MeV por cada núcleo de dicho isótopo.

El uranio-235 es un isótopo del uranio natural (de cuya composición forma parte con una riqueza del orden del 0'7%). El uranio-235 es radiactivo, emitiendo partículas alfa, con un periodo de semidesintegración relativamente grande ($7 \cdot 10^8$ años). Este isótopo posee la propiedad singular de que, cuando se bombardea con neutrones térmicos, se fragmenta en dos o tres núcleos más pequeños. En el proceso se emiten entre dos o tres neutrones, que pueden reproducir el proceso citado, generando así lo que se conoce como una "reacción en cadena". Cuando este proceso tiene lugar de forma instantánea, descontrolada, estamos ante una bomba atómica. Si el proceso se produce de forma controlada, nos encontramos ante una central nuclear. Naturalmente, tanto uno como otro proceso requieren la concurrencia de determinadas condiciones específicas.

En esencia, un reactor nuclear es básicamente un dispositivo en el que se "quema" un determinado combustible fisionable. En este proceso se desprende una cantidad considerable de calor y se liberan radiaciones muy

penetrantes. El calor producido se extrae del reactor mediante un refrigerante que se hace llegar hasta un circuito de fluido motor que acciona una turbina. A partir de aquí, el funcionamiento de una central nuclear es muy similar al de una central térmica convencional. En esencia, podemos decir que en una central térmica convencional se consume carbón o petróleo y se produce electricidad. En una central nuclear, se consume uranio-235 y se produce igualmente electricidad.

La primera central nuclear comercial que entró en funcionamiento en el mundo fue la de Calder Hall, en Inglaterra, que empezó a operar en 1956. A partir de dicha fecha, se han construido muchas centrales nucleares en todo el mundo. Según datos de la International Atomic Energy Agency, en la actualidad existen 439 centrales nucleares en funcionamiento en 31 países diferentes de todo el mundo. Estados Unidos (con 104 reactores operativos), Francia (59), Japón (53) Reino Unido (35) y Rusia (29) son los países que cuentan con mayor número de instalaciones de esta naturaleza. A pesar del denominado "parón nuclear", en el año 2000 entraron en funcionamiento 6 nuevos reactores (tres en la India y uno en Brasil, República Checa y Pakistán). Actualmente, se están construyendo 31 nuevos reactores en todo el mundo (entre ellos, ocho en China, cuatro en Corea del Sur, cuatro en Ucrania, tres en Japón y tres en Rusia).

Existen muchas variedades de centrales nucleares, atendiendo sobre todo al tipo de combustible, moderador y refrigerante utilizados. Las variedades más difundidas son las que usan uranio enriquecido como combustible y agua ordinaria como moderador de los neutrones y como refrigerante. Dentro de esta modalidad, existen dos tipos diferentes de instalaciones, las de agua en ebullición (BWR), desarrollado por la empresa General Electric, y las de agua a presión (PWR), desarrollado por la empresa Westinghouse.

Las diferentes estimaciones de las reservas de uranio realizadas a finales de los setenta (en plena crisis energética) indicaron que el total disponible de este elemento en todo el mundo era del orden de los 4 millones de toneladas. La mitad de estos recursos se encuentran en los Estados Unidos. Existen también reservas importantes en Canadá, Suecia, Sudáfrica y Australia. Se calculó entonces que, al ritmo de consumo de este recurso

natural en aquel tiempo y con la tecnología existente a la sazón, las reservas conocidas durarían unos 200 años.

Un dato importante a considerar se refiere al hecho de que el uranio natural que se extrae de estos yacimientos no puede ser utilizado directamente como combustible nuclear. Es necesario someterlo a un proceso de enriquecimiento que incremente la baja proporción de uranio-235 que existe en el elemento natural. Las oportunas plantas de enriquecimiento (de las que existen varias modalidades) son instalaciones sumamente sofisticadas y costosas. Sólo los países más avanzados disponen de este tipo de instalaciones.

Debe tenerse en cuenta también que la industria nuclear consume una gran cantidad de energía, que se invierte en los procesos de extracción, procesamiento y enriquecimiento del uranio, en la fabricación y reprocesado del combustible, en la construcción de las propias centrales y en su funcionamiento ordinario, así como en la gestión de los residuos nucleares producidos, entre otros factores. Las consideraciones de tipo puramente económico (la construcción de una central nuclear puede suponer un coste del orden de los 3.000 millones de euros), la existencia de muchos problemas técnicos sin una solución definitiva (aquí hay que hacer una mención especial al problema de los residuos nucleares), la presión de amplios sectores de la opinión pública contrarios a este tipo de energía y, sobre todo, el impacto producido por la catástrofe de Chernobil, en la Unión Soviética, en 1986, han motivado un indudable frenazo en el ritmo de construcción de nuevas centrales nucleares en todo el mundo.

En particular, el entusiasmo con que algunas personas o instituciones de nuestro país contemplaban esta fuente de energía hace ya algunos años parece haber disminuido sustancialmente en la actualidad. Por supuesto, siguen habiendo muchas opiniones a favor de iniciar la construcción de nuevas centrales nucleares, esgrimiendo incluso argumentos medioambientales para apoyar tales posiciones (entre los que se suele mencionar el hecho de que estas instalaciones no emiten gases que contribuyen al efecto invernadero). En cualquier caso, este tema no se puede considerar zanjado en absoluto y la polémica al respecto, aunque no tan virulenta como la que tuvo lugar durante la década de los años setenta, mantiene toda su vigencia en la actualidad.

5. LA SITUACIÓN ENERGÉTICA EN ESPAÑA

En el año 2000, España consumió un total de 110 millones de toneladas equivalentes de petróleo (Tep) de energía primaria. Esta cifra supone que cada español consume anualmente, como media, una cantidad del orden de 2'7 Tep de energía primaria. Esta cantidad es similar a la que consume un italiano (2'8 Tep), aunque sólo representa una tercera parte de la que consume un estadounidense (7'9 Tep). El consumo de energía primaria per cápita en nuestro país ha crecido casi en un 45% en el curso de los últimos veinte años y las previsiones es que siga haciéndolo en el futuro.

Para que el sector energético pueda hacer frente a esa demanda, precisa de fuentes de energía, de instalaciones de transformación y de infraestructuras de transporte y distribución. Hoy por hoy, como en el resto del mundo desarrollado, esas fuentes son, fundamentalmente, las energías tradicionales. Sin embargo, España es enormemente deficitaria en combustibles fósiles. Concretamente, en 1997, nuestro país importó el 54% del carbón, el 99% del petróleo y el 98% del gas natural que consumimos. Todos estos datos ponen claramente de manifiesto que nuestra dependencia energética con el exterior es muy acusada.

Por sectores, los mayores consumos energéticos se dan en la industria (con un 39% del total) y en el transporte (con un 40% del total). Nuestro consumo de energía se reparte entre diferentes fuentes energéticas, de las cuales la aportación más importante corresponde al petróleo (con un 53% del total, aproximadamente), seguido por el carbón (16%), la energía nuclear (14%), el gas natural (10%) y la energía hidráulica (3%). Conjuntamente, las restantes fuentes renovables (eólica, solar y biomasa) contribuyen a este consumo con un 4% del total. Todos estos datos corresponden al año 1997.

Salvo en el caso del petróleo, la mayor parte de esa energía se destina a la producción de electricidad. En el año 1997, como media, cada español consumió más de 4.000 kwh de electricidad al año. La producción se distribuyó entre las centrales hidroeléctricas (aproximadamente, 20% del total), termoeléctricas (50%) y nucleares (30%). Dentro de las termoeléctricas, el combustible más utilizado es el carbón (34%), seguido a distancia por el petróleo (8%) y el gas natural (8%). Como es natural, estas cifras pueden variar

un tanto de año en año dependiendo de varias circunstancias. En cuanto al consumo de esta energía, sólo señalaremos que tan sólo un 15% del total corresponde al uso doméstico.

Por lo que respecta específicamente a la energía nuclear, hay que recordar que en España existen actualmente nueve centrales en funcionamiento regular: José Cabrera (Guadalajara), Santa María de Garoña (Burgos), Almaraz I y II (Cáceres), Trillo (Guadalajara), Ascó I y II (Tarragona), Vandellós II (Tarragona) y Cofrentes (Valencia). Salvo las dos primeras de estas centrales (con 160 y 460 Megawatios, respectivamente), todas las demás tienen una potencia del orden de 1.000 Megawatios. Por lo tanto, la potencia nuclear total instalada en nuestro país es del orden de los 8.000 Megawatios. El valor total de los activos de estas instalaciones supera los 12.000 millones de euros. Al menos hoy por hoy, no se prevé la construcción de nuevas centrales nucleares.

Hay que citar también la existencia de una fábrica de combustible nuclear (en Juzbado, Salamanca) y un centro de almacenamiento de residuos radiactivos de baja y media actividad (en El Cabril, Córdoba).

Como ya hemos señalado anteriormente, la producción total de energía por parte de las nueve centrales nucleares anteriormente citadas cubre el 30% del total de la energía eléctrica que se produce en España, un porcentaje muy alejado del que corresponde a países tales como Francia (76%), Bélgica (57%) o Ucrania (47%), aunque muy por encima de otros como Estados Unidos (20%), Rusia (15%) u Holanda (4%).

6. LAS ENERGÍAS RENOVABLES Y SUS POSIBILIDADES

Cuando hablamos del tema de la energía, resulta evidente que cualquier discusión seria sobre el futuro deberá estar basado en un análisis muy riguroso de los diferentes recursos disponibles (naturaleza, distribución geográfica, costes, riesgos, etc.), así como las oportunas cifras de producción y consumo, y todo ello en el marco de unos determinados modelos de desarrollo de la sociedad.

Las opiniones más autorizadas en este sentido coinciden en señalar que la resolución del problema de la energía exigirá la adopción de iniciativas

muy concretas en dos frentes principales. En primer lugar, será necesario esforzarse seriamente para utilizar más racionalmente la energía de que disponemos en la actualidad, y eliminar ciertas situaciones realmente graves de abuso y despilfarro de estos recursos. En segundo lugar, habrá que dedicar una mayor atención al desarrollo de fuentes de energía alternativas o renovables, que liberen a los países industrializados (y en el futuro, a todo el mundo) de la actual dependencia del petróleo, cuyo agotamiento, como hemos visto, no parece estar muy lejano.

Sin duda alguna, dentro de este tipo de energía, la energía hidroeléctrica ocupa un lugar muy destacado. Tengamos en cuenta, entre otras consideraciones, que la energía hidráulica ya fue utilizada por el hombre desde la más remota antigüedad (molinos de agua). En particular, se sabe que los romanos utilizaron la energía hidráulica como un medio de liberar a los caballos utilizados para moler cereales y poder utilizarlos así con fines militares (este no es el único caso en que un avance tecnológico ha sido estimulado por objetivos militares). La presencia de miles y miles de molinos de agua en toda Europa pone de manifiesto la estrecha dependencia entre la economía medieval y la energía hidráulica.

El fin de las ruedas de agua, en cualquiera de sus formas tradicionales, tuvo su fin con el advenimiento de la turbina, un dispositivo desarrollado en un principio en Francia, Inglaterra y Estados, a lo largo del siglo XIX. Con el paso del tiempo, se construyeron turbinas (con diferentes diseños) capaces de producir enormes cantidades de energía a partir de las corrientes de los ríos. Por ejemplo, en el río Yenisey, en Siberia, existe actualmente una central hidroeléctrica que cuenta con 24 turbinas, cada una de las cuales posee una potencia de 500 megawatios. En los saltos de agua Churchill, en el Canadá, existe una central que cuenta con 11 turbinas de una potencia similar a ésta.

Prácticamente todas las instalaciones de energía hidráulica existentes en la actualidad se destinan a la conversión de energía mecánica en energía eléctrica. Estas instalaciones son altamente eficientes. En cambio, la utilización directa de la energía mecánica producida por el agua (al margen del valor estético que puedan tener los antiguos molinos) era extremadamente

ineficiente.

Se ha estimado que el potencial aprovechable de este tipo de energía en todo el mundo es del orden de 3 millones de Megawatios (es decir, el equivalente a 3.000 centrales nucleares de gran potencia). La producción teórica de energía anual podría alcanzar una cifra del orden de 13 gigawatios-hora. Los países con más recursos potenciales en este sentido son China, Rusia, Estados Unidos, Zaire, Canadá, Brasil, Malasia, Colombia e India, por este mismo orden.

Sin embargo, nos consta que, en la actualidad, apenas se aprovecha un 15% de esta potencia. ¿Qué sucede con el resto? La respuesta a esta pregunta ilustra perfectamente un aspecto clave del tema que nos ocupa: la existencia de grandes desequilibrios geográficos entre las zonas donde están localizados los principales recursos energéticos de producción y los lugares en que se consumen mayoritariamente tales recursos. Por ejemplo, en Europa se está aprovechando en la actualidad un 60% de la potencia hidroeléctrica disponible, en tanto que este porcentaje en Sudamérica es del orden del 20% y en África tan sólo el 1%.

Con todo, el desarrollo total del potencial mundial de energía hidroeléctrica es poco probable. El agua es necesaria para otros usos distintos de la generación de electricidad: la irrigación es uno de los más importantes y suele ser imposible combinar estos dos usos. Por otro lado, la utilización de los ríos para navegación y pesca resulta irreconciliable con la construcción de presas para la producción de energía. Los grandes planes hidráulicos inundan grandes superficies de terreno y ello puede producir enormes pérdidas de tierras fértiles. La creación de grandes lagos puede tener también importantes repercusiones en el paisaje y en el medio ambiente. La financiación puede ser también un serio problema, especialmente en los países poco desarrollados. En este último caso, el consumo de electricidad se mantiene, hoy por hoy, muy bajo y sabemos que las dificultades de transportar la energía eléctrica a grandes distancias de los lugares de producción (para su venta a otros países) pueden ser insalvables con la tecnología actual.

Veamos ahora otra posible fuente de energía renovable, la energía de las mareas. La simple observación de la subida y bajada diaria de las mareas

en muchos lugares de la costa sugiere la idea de que este fenómeno podría constituir una fuente de energía inagotable. Efectivamente, la energía está allí, y en gran cantidad, pero es extremadamente difícil de obtener.

Históricamente, el desarrollo de molinos basados en el movimiento de las mareas ha sido paralelo al de los molinos basados en la corriente de los ríos, pero las evidentes limitaciones geográficas y las dificultades que entraña su uso han impedido que los primeros se desarrollaran tanto como los segundos. Se sabe que uno de los primeros molinos de ruedas conocido, basado en las mareas, estuvo operando en Wapping (Inglaterra) en una fecha tan temprana como 1233.

El típico molino de mareas estaba situado junto a un estanque del interior, a alguna distancia de la costa. La apertura y cierre de un sistema de compuertas producían alternativamente la entrada y salida del agua al estanque y, con ello, un flujo de agua capaz de mover la rueda del molino. Los inconvenientes del sistema son evidentes, dada su dependencia temporal con el movimiento de las mareas. El funcionamiento del molino tampoco puede ser regular, sino que depende, como es natural, de la cantidad de agua embalsada.

Las mismas limitaciones existen en las modernas instalaciones de centrales eléctricas basadas en las mareas. La primera de estas centrales es la instalada en Rance (Francia), con una altura media de marea del orden de los 8 metros. La superficie del embalse de esta central es de 22 km² y su potencia máxima es de 240 megawatios. Esta cifra es pequeña si la comparamos con la capacidad de una gran central moderna de producción de energía (por ejemplo, la central nuclear de Cofrentes, en Valencia, tiene una potencia neta de 955 Megawatios).

De acuerdo con algunas estimaciones recientes, el desarrollo de todos los emplazamientos apropiados para aprovechar la energía de las mareas en todo el mundo proporcionaría, en el mejor de los casos, una capacidad de generación del orden de los 16.000 megawatios. El hecho de que la cifra sea bastante baja se explica, en parte, por la baja eficiencia de estos sistemas.

Por lo que se refiere a la posible utilización de la energía de las olas, los resultados obtenidos hasta ahora son aún más desalentadores. Algunos

estudios realizados al respecto hace algunos años especulaban con la idea de que un sistema de generadores de una longitud de 900 millas, montado a lo largo de la costa de Inglaterra, podría producir una energía del orden de 30.000 megawatios, una cantidad que equivalía al 50% del consumo de electricidad de este país en aquél entonces.

La tecnología necesaria para lograr este fin no era demasiado compleja, en principio. El sistema podría estar constituido por un conjunto de tanques flotantes sobre las aguas, cuyo movimiento periódico (arriba y abajo) podría utilizarse para hacer trabajar a una bomba de presión de agua que, a su vez, haría funcionar una turbina situada en la costa. La idea es ingeniosa, pero, evidentemente, resulta poco práctica y puede plantear muchas e importantes objeciones (alteración del paisaje, dificultades en el movimiento de buques, peligro de accidentes causado por la rotura del sistema, sensibilidad a las tormentas del mar, etc.). Hoy por hoy, hablar de la utilización de la energía de las olas es simplemente una quimera.

La energía geotérmica es, en principio, una posibilidad más interesante. El origen preciso de las altas temperaturas existentes en el interior de la Tierra es todavía un objeto de debate. Al parecer, un 80% de esta energía proviene de la desintegración radiactiva del uranio, torio y sus derivados, en tanto que el 20% restante es calor residual de la formación de la Tierra. El flujo natural de este calor hacia la superficie terrestre es muy pequeño: apenas 1'5 watios-hora por metro cuadrado y día. En consecuencia, el problema con la energía geotérmica consiste fundamentalmente en concentrar un flujo de energía muy difuso en cantidades relativamente grandes y, por ello, susceptibles de ser utilizadas.

La utilización de manantiales de agua caliente data de tiempos remotos. Los antiguos romanos usaron de forma sistemática estos recursos naturales con fines medicinales y recreativos, así como para calefacción de las viviendas. Por lo tanto, no resulta sorprendente saber que los actuales italianos son pioneros en el uso de la energía geotérmica para producir electricidad. La central de Lardarelllo, en el norte de Italia, produjo electricidad en una fecha tan temprana como 1904. En la actualidad, esta central produce unos 400 megawatios.

En el año en que estalló la crisis energética (1973), la producción mundial de energía geotérmica era del orden de los 1.200 Mw. Los emplazamientos estaban muy localizados (Italia, Estados Unidos, Nueva Zelanda, Japón, Méjico e Islandia). Tras un desarrollo intensivo de esta fuente de energía, en los años ochenta se llegaron a conseguir hasta 3.000 Mw.

A la vista de estas cifras, resulta evidente que, hoy por hoy, la importancia de esta fuente de energía es extraordinariamente modesta en términos relativos. Tampoco podemos olvidar que existen serias limitaciones al uso de esta energía para la producción de electricidad. Por ejemplo, la alta concentración de minerales de las aguas de origen geotérmico (que puede ser una cualidad interesante desde el punto de vista terapéutico) produce importantes problemas de polución cuando tales aguas son finalmente vertidas a un curso de agua natural. Dado que la temperatura que alcanzan estas aguas es relativamente baja en relación con lo que es usual en una central térmica, las eficiencias de las centrales geotérmicas son bastante pobres, del orden del 10%.

Aunque los estudios y perforaciones de nuevos yacimientos continúan en la actualidad, parece evidente que la energía geotérmica sólo puede ser importante en zonas muy localizadas de nuestro planeta y que, en un contexto global, seguirá siendo en el futuro una fuente de energía de importancia muy secundaria.

La energía del viento resulta una fuente mucho más atractiva. El origen de los molinos de viento (una imagen tan entrañable en muchos paisajes) se remonta a la más remota antigüedad. Parece ser que ya fueron utilizados por los chinos hace más de 2.000 años. En Occidente, su existencia se menciona ya en algunos escritos árabes en el siglo IX. Los primeros molinos documentados en el norte de Europa corresponden a Francia (1180) e Inglaterra (1191).

En principio, la tecnología de los molinos de viento derivaba de la utilizada en los molinos de agua. Sin embargo, dado que la densidad del aire es 800 veces menor que la del agua, para capturar la misma cantidad de energía a igualdad de flujo, sería necesario utilizar aspas con una superficie 800 veces mayor en el primer caso que en el segundo. Los requisitos de un molino de viento (tamaño, ligereza, robustez y adaptabilidad a las diferentes velocidades

y direcciones del viento) fueron siempre un reto para los constructores.

Las versiones modernas de estos molinos de viento aparecen en fechas relativamente recientes. En los años treinta, se construyó en Rusia un molino con aspas de 30 metros de diámetro que suministraba una potencia de 100 kw. En Dinamarca se realizaron interesantes investigaciones sobre esta fuente de energía durante la Segunda Guerra Mundial. Algunos años más tarde, se construyeron en Inglaterra varios molinos de 100 kw. En Estados Unidos se construyó un enorme molino, con dos aspas de 52 metros de diámetro, capaz de suministrar una potencia máxima de 1.250 kw. Lamentablemente, el funcionamiento de algunos de estos prototipos fracasó y el entusiasmo inicial hacia esta fuente de energía desapareció durante bastante tiempo.

Como todos sabemos, la situación ha cambiado sustancialmente en la actualidad. Aunque los modernos molinos no están exentos de algunas críticas (impacto sobre el paisaje, peligro para las aves y ruido), su imagen empieza a ser familiar en muchos países de todo el mundo. En nuestro país cada día abundan más los llamados parques eólicos. Algunas declaraciones oficiales al respecto han llegado a afirmar que, en el curso de muy pocos años, la energía producida por el viento cubrirá hasta un 10% de nuestro consumo total de energía.

Nos parece interesante mencionar especialmente el caso de Dinamarca, un país relativamente pequeño, que está realizando últimamente un gran esfuerzo para desarrollar este tipo de energía. La particularidad es que los generadores eólicos que está instalando este país están situados sobre el mar, lejos de la costa (lo que se suele conocer como off-shore). Se considera que esta opción ofrece bastantes ventajas respecto a las instalaciones en tierra. Se trata de modelos de gran tamaño, con un coste del orden de 300.000 euros por unidad y una potencia de 2 Mw por unidad. Cuando se complete el plan actualmente en curso, se confía en que la energía suministrada por este tipo de generadores cubrirá hasta un 50% del consumo de energía eléctrica en todo el país.

En principio, las perspectivas que ofrece la energía solar son enormemente prometedoras. Ciertamente, existen muchos motivos para ese optimismo. Por ejemplo, sabemos que el flujo solar sobre las capas altas de la

atmósfera es nada menos que 1'4 kilowatios por metro cuadrado. Aunque la absorción y la reflexión reducen sensiblemente esta cifra, se considera que un 50% de dicha energía alcanza la superficie de la Tierra. Se ha estimado que la energía solar que llega a la superficie de la Tierra durante un periodo de tan sólo 20 días equivale a todas las reservas de combustibles fósiles existentes en nuestro planeta.

Veamos otro dato interesante. Las zonas desérticas de nuestro planeta cubren una superficie del orden de los 20 millones de kilómetros cuadrados. Sobre esta superficie de tierra, que no aporta ningún alimento y en la que apenas vive nadie, la cantidad de radiación solar recibida es trescientas veces mayor que el consumo actual de energía en todo el mundo. En consecuencia, aunque sólo pudiéramos aprovechar una parte muy pequeña de la energía solar que llega a nuestro planeta, todos nuestros problemas energéticos desaparecerían.

La forma más sencilla de captar la energía solar es el colector plano. En su forma más simple, se trata de una superficie plana y negra por la que se hace circular agua a través de unos conductos. Como es natural, existen infinidad de modelos y variantes de dichos colectores. El destino más frecuente de este tipo de dispositivos es el suministro de agua caliente para usos domésticos. Hoy en día, el uso de estos dispositivos es relativamente frecuente en muchos países, aunque sin llegar a agotar, ni mucho menos, sus posibilidades.

Por supuesto, utilizando colectores focalizadores se alcanzan temperaturas mucho más elevadas. En general, la focalización se consigue mediante espejos cóncavos. Se han construido muchos prototipos de estos "hornos solares" en los que se pueden alcanzar temperaturas de varios miles de grados en el colector, un logro importante para muchos proyectos de investigación. Sin embargo, este tipo de colectores presenta un inconveniente muy serio. Al contrario de lo que sucede con los colectores planos, es necesario que los colectores focalizadores estén dirigidos constantemente hacia el sol, lo cual exige la utilización de sistemas de seguimiento muy sofisticados.

La posibilidad de utilizar este tipo de colectores focalizadores como cocinas domésticas (especialmente en los países del tercer mundo) no ha

prosperado, tanto por motivos técnicos como sociales. El hecho de que tales cocinas resulten inútiles en días nublados es un serio inconveniente práctico. En cualquier caso, la gente prefiere cubrir sus necesidades cotidianas con los sistemas tradicionales.

Una posibilidad interesante es la utilización de la energía solar para producir la destilación del agua (desalinización del agua del mar). Sin embargo, hoy por hoy, las eficiencias logradas en la práctica son muy bajas y los rendimientos obtenidos con estos sistemas no justifican las ingentes inversiones económicas necesarias para construir las instalaciones necesarias. En definitiva, los sistemas basados en la energía solar no son competitivos frente a los que utilizan otras fuentes de energía.

La conversión directa de energía solar en electricidad todavía tropieza con muchas dificultades en la actualidad. El rendimiento de conversión fotovoltaica de las células solares todavía es muy bajo y, en consecuencia, el coste de la energía eléctrica producida sigue siendo bastante elevado en comparación con el de otras fuentes de energía. Sin embargo, es muy posible que la mejora sustancial de los rendimientos de estas células (gracias a la utilización de nuevos materiales), el perfeccionamiento de los métodos de producción actuales y el desarrollo de nuevas técnicas, permitan abaratar considerablemente los costes en un futuro no lejano. Por el momento, las previsiones realizadas hace una veintena de años de que a principios del siglo XXI la energía solar podría llegar a cubrir hasta un 10 ó 15% de las necesidades energéticas del mundo, no se han cumplido.

Un problema importante inherente a la energía solar es su variabilidad. No sólo se producen variaciones diarias (su valor es nulo durante la noche y máximo a mediodía) y estacionales (invierno y verano), de carácter regular, sino que hay que tener en cuenta también las fluctuaciones al azar que tienen su origen en las condiciones meteorológicas (las horas de insolación varían considerablemente de unos países a otros). Como es natural, las necesidades de una sociedad moderna y desarrollada no pueden quedar condicionadas por todos estos factores. Es evidente que muchas de las dificultades presentes que afronta hoy en día la energía solar podrían resolverse si se dispusiera de sistemas de almacenamiento adecuados. Por lo tanto, no resulta sorprendente que mucha de la investigación realizada hoy en día al

respecto vaya en esta dirección.

A más largo plazo, parece ser que la energía de fusión está destinada a jugar un papel fundamental en la demanda de energía de la humanidad. Algunos autores sugieren que ésta será posiblemente la “solución final” del problema de la energía, dado que sus fuentes permitirían cubrir nuestras necesidades durante millones de años (no debemos olvidar que, estrictamente hablando, la energía de fusión no es un recurso realmente renovable).

La fusión nuclear consiste básicamente en la unión de núcleos ligeros para dar lugar a otro más pesado, con la consiguiente liberación de energía. En cierto modo, podría ser considerado como el proceso inverso de la fisión nuclear. La fusión nuclear tiene lugar de forma espontánea en el Sol y en las estrellas, donde pueden producirse estos procesos termonucleares gracias a la alta temperatura existente en estos astros (aproximadamente, un millón de grados centígrados), en virtud de la cual la agitación térmica es lo bastante energética como para que los núcleos se aproximen los unos a los otros, superando de este modo la repulsión coulombiana entre sus cargas eléctricas.

Por ejemplo, cuando cuatro núcleos de hidrógeno se fusionan dan lugar a un núcleo de helio (partícula alfa) y dos positrones. Cada vez que se produce uno de estos procesos se liberan unos 26 MeV, es decir, una cifra que correspondería a una producción de energía del orden de 10.000 kwh por gramo de hidrógeno. Sólo resta pensar en la cantidad de hidrógeno que existe en nuestro planeta (agua del mar) para completar una imagen altamente optimista sobre las posibilidades que podría ofrecer esta fuente de energía.

Desgraciadamente, aunque los principios sobre los que se basa esta

forma de energía son actualmente bien conocidos, su desarrollo se encuentra todavía en fase de investigación, sin salir de los laboratorios.

Los problemas que plantea la construcción de un reactor de fusión a escala industrial son enormes y, a pesar de los avances importantes que se han llevado a cabo durante estas últimas décadas en los países más desarrollados (Estados Unidos, Alemania, Inglaterra e incluso la antigua Unión Soviética, entre otros), todo parece indicar que será necesario esperar todavía bastantes años para que esta forma de energía alcance la fase de producción industrial. El esfuerzo constante de un elevado número de científicos e instituciones especializados en este campo de trabajo y la disponibilidad de inversiones muy importantes para poder desarrollar las complejas técnicas relacionadas con esta forma de energía serán, sin duda, factores decisivos para la consecución del éxito en su desarrollo.