

EL PROBLEMA DE LA ENERGIA

Por Gregorio MILLAN BARBANY
Dr. Ingeniero Aeronáutico

Se ha dicho alguna vez que el hombre es un «animal perezoso».

Cualquiera que sea el valor que nos pueda merecer este juicio, una cosa es cierta: el hombre es una criatura muy poco dotada por la naturaleza para realizar trabajo mecánico.

Efectivamente; la potencia máxima continua que un hombre puede desarrollar es del orden de un quince a un veinteavo de caballo y ello tan sólo durante un cuarto de hora (1). Teniendo en cuenta el tiempo de reposo necesario y el que hay que dedicar a otras actividades humanas, resulta que el trabajo medio anual del hombre es de 100 Kwh., y si se toma en consideración la estructura de la población humana, incluidos enfermos, niños y ancianos, aquella cifra se reduce a 20 Kwh. por individuo y año.

Esta cifra es evidentemente muy pequeña en proporción al peso del hombre, y resulta más pobre todavía si se considera el rendimiento que se obtiene al comparar esos 20 Kwh. con el equivalente energético anual de las 2.500 a 3.000 calorías diarias que como mínimo necesita asimilar para mantenerse, las cuales equivalen a algo más de 1.000 Kwh. al año, y hay que suministrarlas, además, en forma de combustible muy caro: la alimentación.

Al comparar aquellas dos cifras, se comprueba que el rendimiento del hombre, como máquina de producir trabajo, es del orden del 2 por 100, es decir, muy inferior al de cualquiera de los dispositivos ideados por él para librarse de tan penosa servidumbre.

Pero, si bien es cierto, como acabamos de ver, que su capacidad para desarrollar trabajo mecánico resulta muy precaria, el hombre brilla en cambio con carácter singular en otras aptitudes de rango muy superior. Especialmente por su habilidad manual y por su inteligencia.

Y es en el ejercicio de estas singulares aptitudes, en las que precisamente radica su verdadera naturaleza, donde no ha sido nada perezoso para desarrollarlas y sacar el máximo partido de ellas, como lo acreditan bien la historia de su evolución y el testimonio de las maravillosas creaciones de sus manos y de su espíritu.

El fruto de tales esfuerzos se hace patente en todas las manifestaciones de su actividad y también, por consiguiente, en el campo específico de la Energía, cuya problemática actual constituye el tema de esta exposición (2).

(1) Anton Zischka: «Pasado, Presente y Futuro de la Energía». Ed. Labor, 1960.

(2) Como indica el título de este trabajo, se trata tan sólo de comentar algunos aspectos científicos, técnicos, políticos, económicos y sociales del problema energético, sin pretender ofrecer soluciones posibles, cuya exposición, en la medida en que hoy pueda vislumbrarse, corresponde a voces más autorizadas que la mía.

Así se comprueba efectivamente, al contemplar la historia de la conquista de este concepto, en el orden del saber científico, y la de sus aplicaciones prácticas, merced a las cuales el hombre puede tener a su disposición una energía inmensamente mayor que la que es capaz de desarrollar con su propio esfuerzo, liberándose de él para consagrarse a funciones más creativas y coherentes con su vocación natural.

* * *

Aun cuando el término pertenece a las civilizaciones clásicas, el concepto científico de la Energía es sorprendentemente muy reciente. Su carácter elusivo ha ocupado la atención de algunas de las más preclaras inteligencias de la Filosofía Natural, entre las que tiene especial resonancia para nosotros el nombre del físico austriaco Ernesto Mach, y aún en nuestros días es objeto de análisis y precisiones, para entender el significado profundo de la conservación de la energía en los procesos naturales (3).

El concepto fue introducido por Thomas Young en Inglaterra, en 1807 (4), si bien hubieron de transcurrir bastantes años antes de que su uso se generalizase y adquiriese la precisión necesaria. Así, la expresión «energía potencial» fue introducida por William John Rankine en 1853 y la de «energía cinética» por Lord Kelvin y P. G. Tait en 1867, en sustitución esta última de la de «vis viva», que había consagrado G. W. Leibnitz aproximadamente un siglo antes.

Por último, el Principio de Conservación de la Energía, la Ley Reina de la Física, fue enunciado por Heber von Helmholtz en 1847, cuando tenía veintiséis años, en una memorable comunicación a la Sociedad de Física de Berlín, que pasó en aquella ocasión muy desapercibida y cuya publicación no fue aceptada en los famosos Anales de Poggendorff, por lo que hubo de editarla privadamente en forma de panfleto.

Esta ley, cuya aplicación a los procesos mecánicos, térmicos, químicos y electromagnéticos analizó Helmholtz en su exposición, significaba un paso de gigante en el desarrollo de la Física y venía a culminar un laborioso y dramático proceso de investigación (5), al que aparecen vinculados los nombres de Julio Robert Mayer en Alemania y de James-Prescott Joule en Inglaterra, en relación con las transformaciones entre calor y trabajo y por la determinación experimental del «equivalente me-

(3) E. J. Hoffman: «The concept of Energy». Ann Arbor, Science Publishers Inc., 1977. C. Sánchez del Río: «Sobre el Concepto de Energía». Academia de Ciencias, Madrid, noviembre 1979.

(4) Th. Young: «A course of Lectures on Natural Philosophy», 1807.

(5) M. Mott Smith: «The Concept of Energy Simply Explained». Dover Publ. Inc., New York, 1964.

cánico del calor». Porque el gran tema era precisamente el de las transformaciones recíprocas entre calor y trabajo, ya que desde mucho antes se conocía y había sido enunciado por J. L. Lagrange el principio de conservación en los procesos mecánicos aislados, no disipativos, el cual está contenido en las Leyes de Kepler, que sirvieron de base a los trabajos de Newton.

Todo lo cual se produjo cuando el gran motor de la Revolución Industrial, la máquina de vapor de James Watt, cuya primera patente data de 1769, llevaba casi un siglo de existencia y cuando el barco de vapor y el ferrocarril eran ya realidades logradas.

Con anterioridad a los decisivos trabajos de Mayer, Joule y Helmholtz, los fundamentos científicos para el proyecto de máquinas de vapor fueron establecidos por el joven oficial de Artillería francés Sadi Carnot, tío abuelo del homónimo que en 1887 alcanzaría la Presidencia de la República de su país, en un memorando tratado publicado en 1824, el único que escribió en su vida, con «Reflexiones sobre la Causa de la Potencia del Fuego y sobre las Máquinas adecuadas para Desarrollar esa Potencia». En él Carnot desarrolló su famoso ciclo e hizo recomendaciones del más alto valor sobre la forma de mejorar el rendimiento de las máquinas térmicas, poniendo de manifiesto que el trabajo máximo que puede obtenerse de una cantidad de calor es independiente del vehículo térmico, y sólo depende de las temperaturas exteriores entre las cuales se opera.

En sus investigaciones Carnot se veía limitado por el insuficiente conocimiento de la naturaleza del calor que entonces, siguiendo las ideas de su compatriota A. L. Lavoisier, paradójicamente el que acabó en la química de la combustión con el famoso «flogisto», se identificaba con un fluido imponderable, el «calórico», de acuerdo con una pauta que habría de repetirse en otros campos, frente a la teoría mecanicista, que finalmente hubo de prevalecer después de los trabajos de Mayer, Joule y Helmholtz, y de la Teoría Cinética de Gases, desarrollada independientemente por el matemático y físico escocés James Clerk Maxwell a partir de 1860 y por el físico austriaco Ludwig Boltzmann.

Todos estos trabajos, y en especial la Ley de Conservación de la Energía, cuya demostración basó Helmholtz en la imposibilidad del movimiento perpetuo, que también había empleado Sadi Carnot para sus desarrollos, dieron nacimiento a una nueva Ciencia, la Termodinámica, cuyos fundamentos completó en 1849 otro alemán, Rudolf Clausius, reconciliando las investigaciones de Carnot con la teoría mecanicista e introduciendo el concepto y el término de «entropía» mediante la formulación de la segunda Ley de la Termodinámica.

Medio siglo más tarde el Principio de Conservación de la energía habría de enriquecerse con el descubrimiento del carácter discreto de las transformaciones energéticas realizado por el físico alemán Max Planck, creador de la Mecánica Cuántica, al estudiar la radiación del cuerpo negro en relación con la contradicción, que espectacularmente se llamaba de la «catástrofe del violeta», y de ampliarse con la convertibilidad de la masa en energía establecida por Alberto Einstein en la Teoría de la Relatividad restringida, dada a conocer en 1905. Todo lo cual abriría las puertas al desarrollo de la Energía Nuclear, iniciado con los trabajos del físico danés Niels Bohr sobre la estructura del átomo.

* * *

Para terminar esta breve reseña me gustaría mencionar algunos de los aspectos que pudiéramos llamar humanos en relación con todo el esfuerzo de creación intelectual que acabo de resumir.

Se ha dicho en alguna ocasión que una de las características de la forma en que se llevaron a cabo los más señalados inventos de la Revolución Industrial es

que fueron realizados, en muchas ocasiones, por personas de gran ingenio pero no profesionales, es decir, carentes de una formación académica adecuada. Tal es el caso, por ejemplo, de James Watt, ya citado, y cuya contribución al desarrollo de la generación de energía mereció impecablemente memoria al designar con su nombre la unidad de potencia; o el de sus predecesores Thomas Savery, inventor de la bomba de vapor para achicar el agua de las minas de carbón, cuya explotación se había generalizado por entonces en Inglaterra, así como el de Thomas Newcomer, realizador de la primera máquina de vapor de uso comercial generalizado, cuyo perfeccionamiento y mejora fueron el punto de arranque de los trabajos de Watt. O los de George Stephenson, que en 1830 introdujo la locomotora de vapor, iniciando la era del ferrocarril; de William Mardock, descubridor del gas del alumbrado, que cambió la fisonomía nocturna de las ciudades; de Richard Arkwright, en la industria textil, y de tantos otros.

Por cierto, que la unidad técnica de potencia, el Caballo de Vapor, a la vez que rinde tributo al noble animal, que durante miles de años compartió, casi en exclusiva, con el hombre la penosa misión del esfuerzo muscular como única fuente disponible de trabajo, recuerda que la primera aplicación de las máquinas de vapor fue para extraer el agua de las minas, donde su potencia se medía por el número de caballos que podía sustituir la máquina en la noria de achique.

Pues bien; en el campo de los desarrollos científicos de esta época relacionados con la energía se da frecuentemente una circunstancia parecida a la de los inventores, porque, como ya hemos dicho, Sadi Carnot era un joven oficial de Artillería del Ejército francés, aunque con muy clara vocación científica. Mayer fue un médico alemán, cuyas investigaciones sobre las transformaciones entre calor y trabajo arrancan de una observación médica: cuando se hallaba destacado en Java como joven médico observó que la sangre venosa de los nativos era mucho más roja que la de los alemanes, lo que explicó correctamente, según las teorías de Lavoisier, por la menor oxidación de la sangre que se requería en aquel clima cálido para preservar la temperatura del cuerpo y, al parecer, de ahí arrancó su interés por las transformaciones termodinámicas, que habrían de hacerle famoso.

Mayer sufrió mucho porque a lo largo de su vida, y a pesar del alcance de sus descubrimientos, no tuvo el debido reconocimiento, lo que le afectó hasta enloquecer y provocar un intento de suicidio, que resultó fallido, pero de cuyos efectos nunca se recuperó enteramente.

James Prescott Joule fue un autodidacta, dueño de una importante fábrica de cerveza, heredada de sus padres, con gran talento y muy hábil mecánicamente, que montó en su casa un laboratorio para experimentar sobre la generación de trabajo a partir de la electricidad, tema que había sido puesto muy de moda por los recientes descubrimientos de Faraday, y que indirectamente le llevó a sus importantes descubrimientos sobre el equivalente mecánico del calor. Pero, a diferencia de Mayer, Joule obtuvo pleno reconocimiento por sus contribuciones científicas, en gran parte gracias a su amistad con el joven y eminente físico Sir William Thomson, más tarde Lord Kelvin. Fue elegido miembro de la Royal Society a los treinta y dos años de edad y recibió otros honores, el más perdurable de los cuales es el de que la unidad de trabajo del sistema Giorgi haya recibido su nombre.

Por último, Helmholtz fue un médico que ejerció la cirugía y enseñó Anatomía y Fisiología, donde hizo importantes contribuciones en relación con la vista, el oído y la propagación de los impulsos nerviosos. Como Mayer, fue llevado al estudio de la conservación de la energía a partir de consideraciones relacionadas con su

profesión; pero, a diferencia de aquél, obtuvo muy pronto el pleno reconocimiento por sus contribuciones a la Física, en especial por el principio de conservación de la energía, cuya formulación se le atribuyó sin reservas desde el primer momento.

Por el contrario, Clausius, Lord Kelvin, Maxwell, Boltzmann, Plank, Einstein y Bohr fueron profesionales de la Física, y los tres últimos recibieron el Premio Nobel por sus fundamentales contribuciones al progreso de esta Ciencia.

* * *

El progreso científico realizado a partir del siglo XIX, con el desarrollo de la Termodinámica, la Química, el Electromagnetismo, la Mecánica Relativista, la Teoría Cuántica y la Física Nuclear, ha proporcionado un conocimiento muy general y preciso de las diversas formas con que la Energía se manifiesta y se transforma y, como consecuencia de ello, de los modos y los límites con que el hombre puede utilizarla al servicio de sus fines.

Una vivida y fascinante imagen de ese mundo de la Energía, a escala cósmica, ha sido presentada por el profesor Freeman J. Dyson, del Instituto de Estudios Avanzados de la Universidad de Princeton, en una publicación de *Scientific American* (6), aparecida hace algunos años.

En ella el profesor Dyson clasifica las diversas formas de energía en un «orden de méritos», determinado por la entropía unitariamente asociada a cada una de ellas, cuyo valor mide el grado de desorden propio de cada una de las formas y, por consiguiente, el flujo natural de unas a otras. Este flujo conduce a la progresiva degradación energética del Universo, cuyo final sería la «muerte por el calor», que se anticipa en el siglo XIX, aun cuando más recientemente la Astrofísica ha proporcionado otras posibles alternativas de evolución más dinámicas y atractivas.

En la escala de Dyson, en primer lugar se sitúa la energía gravitatoria o posicional, cuya entropía es cero y que, por consiguiente, constituye, junto a la cinética, la forma más noble y ordenada de energía, lo que, a efectos utilitarios, se traduce en la posibilidad de convertirla en trabajo mecánico con un rendimiento teórico del 100 por 100. Es también la forma más abundante en el Universo; la que origina los procesos de condensación que han dado lugar a la formación de los astros y su manifestación más espectacular la constituyen los célebres «agujeros negros» (7), cuya probable existencia fue anticipada teóricamente hace algunos años y cuya confirmación experimental parece que se está comprobando.

En la tabla de Dyson van a continuación, en el orden de entropía creciente, la energía de las reacciones nucleares, la del calor interno de las estrellas, la de la luz solar, la de las reacciones químicas, la del calor terrestre y, en último lugar, la de la radiación cósmica por microondas.

El profesor Dyson explica también en su trabajo por qué siendo la energía de la gravitación tan predominante y la edad del Universo diez mil millones de años no se ha producido desde hace mucho tiempo la degradación a formas inferiores por el colapso gravitatorio en un Universo inestable.

La respuesta se halla en un conjunto de factores de «espera» («hang up»), el primero de los cuales es la dimensión del Universo; el segundo, la fuerza centrífuga de rotación; el tercero es el de la reacción ter-

monuclear del hidrógeno, la materia inicial del Universo y la más abundante, que impide el colapso de las estrellas y es, además, una reacción nuclear de interacción débil, es decir, lenta y no explosiva; el cuarto es la «lentitud» en los procesos de transporte de calor por conducción y radiación desde el centro de los astros hacia las superficies más frías, que requiere miles de millones de años; por último, uno que afecta a nuestro planeta es la «tensión superficial» del núcleo de Uranio fisiónable, que demora su desintegración espontánea también durante períodos de tiempo geológicos.

Una muestra de cómo son las cosas en el Universo, cuando pierde por alguna causa el delicado equilibrio energético que acabamos de describir, la proporcionan los cataclismos que de vez en cuando detecta la moderna Astronomía experimental, tales como las supernovas, las radio galaxias, los pulsares y quasares, y de los que dan testimonio fehaciente los Rayos Cósmicos, descubiertos por el físico austriaco Víctor Francis Hess en 1911, que tan fecundo papel han representado en el desarrollo de la Física moderna, a causa de su elevado contenido energético.

Para terminar con este aspecto «cósmico» del problema energético quisiera recordar uno de los problemas que más inquieto mantuvo al mundo científico durante muchos años hasta que el descubrimiento de la energía nuclear proporcionó la respuesta satisfactoria.

Me refiero, naturalmente, al origen de la energía solar, de la que todo depende en nuestro planeta y cuya perdurabilidad no podía explicarse mediante un proceso de combustión, aun cuando las escalas de tiempo cósmico con que se operaba en el siglo XIX eran infinitamente menores que los cuatro mil quinientos millones de años que hoy sabemos que es la edad real del sol.

La solución de Mayer, primero en dar una respuesta verosímil a este problema en 1848, fue que la energía procedía de la lluvia de meteoros atraídos por el sol, y algunos de los cálculos que llevó a cabo en apoyo de su tesis resultaron razonables. Pero una dificultad, para la que no encontró una respuesta satisfactoria, fue que el incremento anual de la masa solar debería producir una reducción del año terrestre de tres cuartos de segundo, intervalo que a pesar de ser detectable no había sido registrado.

La teoría de los meteoros fue propuesta independientemente por Waterson cinco años más tarde y patrocinada entusiásticamente por Lord Kelvin.

Poco después de que Mayer formulase su teoría de los meteoros, Helmholtz atribuyó el calor del sol a la energía gravitatoria producida por la contracción de la masa a partir de una nébula inicial, de acuerdo con la Teoría de Kant y Laplace sobre el origen de nuestro sistema planetario, desarrollada a partir de 1947 sobre bases científicas compatibles con la Física moderna por el astrónomo alemán Carl F. Weigsächer. Según los cálculos de Helmholtz, bastaría con una contracción anual de 30 metros para generar la energía solar radiada en un año y la contracción debería continuar todavía durante varios miles de años con un calentamiento progresivo del sol hasta que la masa se condensase, a partir de cuyo momento se enfriaría rápidamente.

Esta Teoría de Helmholtz desplazó rápidamente a la de Mayer y prevaleció universalmente aceptada durante medio siglo, hasta que el descubrimiento de la energía nuclear y su aplicación por el físico alemán Hana A. Bethe, e independientemente por Weigsächer, ya citado, a las reacciones nucleares de fusión en el seno de las estrellas, en 1938, proporcionó la solución definitiva del problema y, además, prolongó la vida del sol en cuatro mil millones de años.

* * *

(6) «Energy and Power». *Scientific American*, W. H. Freeman and Co., San Francisco, 1971.

(7) «Cosmology + 1». *Scientific American*, 1977.

Veamos ahora en el marco que acabamos de descri-

bir cuáles son los recursos energéticos de nuestro planeta y en qué forma los utiliza el hombre para hacer frente a sus necesidades.

En primer lugar, tales recursos tienen un doble origen (8).

Unos proceden del exterior; son la radiación solar, en forma absolutamente preponderante y, marginalmente, la energía gravitatoria de las mareas, producida por la atracción del Sol y la Luna. Otros, en cambio, tienen su origen en la propia Tierra: son los combustibles fósiles, los materiales radiactivos y la energía geotérmica.

En segundo lugar, unos son renovables. Tal es el caso de la energía solar, la gravitación y la geotérmica, mientras que los otros, como los combustibles fósiles y nucleares, no lo son, por lo que constituyen recursos transitorios.

Y se da la circunstancia de que los sistemas energéticos de las sociedades industriales están predominantemente basados en el empleo de los recursos fungibles, lo que constituye una solución necesariamente transitoria, que sólo resulta válida durante un lapso de tiempo insignificante para las escalas geológicas o de presencia del hombre sobre la Tierra.

Concretamente, por lo que respecta a los combustibles fósiles, el carbón, el petróleo y el gas, que la Naturaleza ha formado y almacenado a lo largo de seiscientos millones de años, la Humanidad lo va a consumir en unos cientos de años. Por ello, aun cuando el proceso de formación de combustibles fósiles prosigue en nuestros días, el ritmo de generación es insignificante frente a nuestra velocidad de consumo.

En el caso de la energía nuclear, la escala de tiempo puede cambiar si se logra dominar la reacción de fusión, pero el concepto sigue siendo válido.

Precisamente el recurso masivo a esas fuentes extinguidas de energía, y concretamente a los combustibles fósiles, constituye, como se ha hecho dramáticamente patente durante los últimos años, uno de los aspectos más sombríos del problema energético de nuestros días, que nos obliga a contemplar cara al futuro las fuentes renovables, base del sistema energético en los primeros estudios del desarrollo de la Humanidad, bajo una perspectiva nueva (9).

Esto es así, especialmente para la radiación solar, porque es la reserva inagotable y generosa a la que habremos de apelar en última instancia, cuando se hayan consumido los otros recursos de que hoy podemos disponer todavía.

* * *

Creo que algunas cifras ayudarán a fijar los conceptos y órdenes de magnitud relativos de las diversas fuentes energéticas y de su empleo.

De las energías renovables, la geotérmica y la de las mareas, en la proporción relativa entre ambas de diez a uno, representan tan sólo el 0,02 por 100 del total, mientras que a la radiación solar le corresponde el peso del 99,98 por 100 restante.

De esta radiación que llega a la Tierra casi una tercera parte es devuelta por la atmósfera nuevamente al espacio exterior, a través de la reflexión y difusión. Casi una mitad es absorbida por la atmósfera, la Tierra y los mares y convertida directamente en calor, a la temperatura ambiente. Casi una cuarta parte se emplea en el ciclo hidrológico, es decir, en la formación de nubes y la lluvia, y dos fracciones insignificantes, del 2 por 1.000

y el 2 por 10.000, respectivamente, se consumen, de un lado, en las convecciones y circulaciones atmosféricas y oceánicas y, de otro, en la más abundante de las reacciones químicas del planeta: la fotosíntesis clorofílica, la cual es también una de las transformaciones científicas de más bajo rendimiento, puesto que no llega al 1 por 100.

En cuanto al valor absoluto de esa energía, se mide por la constante solar, que es el flujo de potencia por metro cuadrado fuera de la atmósfera, el cual resulta ser de 1,395 kilowatios.

* * *

Por otra parte, en el umbral de la crisis energética, es decir, hacia 1970, el consumo anual mundial de energía primaria era del orden de magnitud, que no se ha alterado, de unos 5.000 millones de toneladas equivalentes de petróleo, lo cual, por cierto, equivale escasamente a cuatro cienmilésimas partes de la energía solar total incidente sobre la Tierra. Dicho de otro modo: la energía solar absorbida en el proceso clorofílico mundial es todavía hoy casi un orden de magnitud mayor que el consumo energético primario de la Humanidad.

Desde otro punto de vista, el consumo medio de energía por habitante y año es, en nuestros días, de unos 1.300 kilogramos equivalente de petróleo, o sea unas quince veces más de lo que consumía el hombre primitivo.

* * *

Dicho así me parece que esta cifra resulta bastante decepcionante. Que después del progreso alcanzado la Humanidad haya conseguido multiplicar tan sólo por 15, en promedio, el consumo energético de subsistencia del hombre paleolítico no parece a primera vista, en efecto, un récord impresionante.

Pero las cosas cambian bastante cuando las cifras se analizan con mayor detenimiento. Porque para interpretar aquel dato en su verdadero significado hay que tener en cuenta dos factores fundamentales.

El primero es el crecimiento de la población (10). Por ejemplo, hace unos dos mil años, cuando la población mundial, que se había desarrollado rápidamente en el neolítico, era de unos 250 millones de personas, es decir, unas quince veces menor que ahora, el consumo medio anual de energía primaria se estima que era de unos 100 millones de toneladas equivalentes de petróleo, es decir, unas cincuenta veces menor que hoy.

El segundo factor es el desequilibrio entre los países desarrollados y el Tercer Mundo, el cual se ha acentuado en forma espectacular y lamentable desde la Revolución Industrial, en que el consumo medio «per capita» llegó a ser ya en Inglaterra diez veces el de subsistencia, y muy acentuadamente desde el final de la segunda guerra mundial.

Concretamente, mientras que las naciones ricas, con un 25 por 100 de la población mundial, consumen más del 80 por 100 de la energía total, las más pobres, con cerca del 70 por 100 de la población, consumen tan sólo un 10 por 100 de aquélla, en tanto que una banda intermedia, correspondiente al 6 por 100 de población, absorbe el resto.

Ocurre así que se han producido desequilibrios de tal magnitud que mientras los países más avanzados consumen «per capita» cincuenta veces más energía que el hombre primitivo, los pobres, es decir, el 70 por 100 de la Humanidad, duplican tan sólo el consumo de la energía de subsistencia. Concretamente, en los Estados

(8) M. King Hubbert: «The Energy Resources of the Earth». «Energy and Power». Scientific American, W. H. Freeman and Co., San Francisco, 1971.

(9) Bent Sorensen: «Renewable Energy». Academic Press., Nueva York, 1979.

(10) H. Brown: «Energy in our Future». Annual Review of Energy, Vol. 1, 1976, An. Rev. Inc., Palo Alto, California.

Unidos de América la energía consumida por el hombre actual es dos órdenes de magnitud mayor que la de subsistencia y el doble de la de los demás países.

Por lo demás, es claro que este desequilibrio se manifiesta con análoga acritud en todas las magnitudes indicadoras del nivel de desarrollo (11), ya que existe, como era de prever, una clara correlación entre la renta «per capita» de los países y su consumo energético por habitante (12).

Así las cosas, ocurre que para situar a toda la Humanidad en el nivel de consumo energético de los países desarrollados habría que triplicar el consumo anual de energía en el mundo, lo que plantea un problema prácticamente insoluble en el estado actual de la tecnología y las reservas.

Es este del crecimiento desequilibrio y la imposibilidad de superarlo en un plazo que signifique algo para la gente otro de los aspectos más agobiantes del problema energético de nuestros días.

* * *

Como ya hemos anticipado, de las fuentes de energía primaria disponibles la estructura del suministro mundial actual depende virtualmente en su totalidad de los combustibles fósiles, es decir, de las reservas no renovables y tan lentamente acumuladas, las cuales proporcionan algo más del 90 por 100 de las necesidades totales: dos terceras partes en forma de petróleo y gas natural y un tercio en forma de carbón. Con ello el consumo anual de petróleo y gas natural es superior a los 4.000 millones de toneladas equivalentes de petróleo y el de carbón excede de los 1.600 millones de toneladas anuales.

Para poder apreciar la tendencia en el ritmo de consumo bastará con decir que en el caso del carbón la cantidad extraída en la última treintena de años es análoga a toda la que se había consumido hasta ese momento (13), aun cuando la Humanidad lleva más de un milenio empleándolo.

Y en el caso del petróleo, cuya explotación se inició hace aproximadamente un siglo, y que a partir de la década de los 60 se convirtió en la primera fuente energética del mundo, la situación es aún más espectacular, puesto que lo extraído en los últimos diez años, por ejemplo, excede de todo lo precedente, en un crecimiento que era exponencial hasta la crisis de 1973, y que duplicaba el consumo cada diez años.

Todo lo cual hace imperativo contemplar la situación del inventario de reservas de combustibles fósiles, de los que tan críticamente depende el sistema energético mundial de nuestros días.

La tarea es bastante más complicada de lo que podría parecer a primera vista porque hay que empezar por ponerse de acuerdo sobre el significado preciso de las reservas, ya que no son comparables las que se estiman por inferencia geológica con las realmente comprobadas, y porque hay que tomar además en consideración factores técnicos y económicos en rápida evolución, para valorar las posibilidades de explotación de las mismas bajo las condiciones dominantes en un momento determinado.

Por ello la adopción de una clasificación generalmente aceptada entre las reservas geológicamente conocidas y económicamente recuperables, de un lado, y los recur-

sos adicionales, supuestos o identificados, pero no explotables todavía por dificultades técnicas o económicas, de otro, es muy reciente (14).

Empezando por el carbón (incluido el lignito, que representa un 25 por 100 del total), los recursos mundiales estimados ascienden a 11 billones de toneladas, que, al ritmo actual de consumo, cubrirían un periodo de tres mil quinientos años (15).

Puesto que el carbón cubre, como hemos visto, un 30 por 100 del consumo de energía primaria en el mundo, la cifra estimada de recursos resulta ser muy tranquilizadora.

Por ello ocurre que, como es sabido, la atención de muchos países se está orientando durante los últimos años hacia el carbón, lo que hace previsible que en el futuro inmediato este combustible juegue un papel aún más importante que actualmente en el balance energético mundial, lo que de hecho está ya ocurriendo en algún sitio.

Ahora bien, hay que tener en cuenta que un pequeño índice de crecimiento anual acumulativo en el consumo de unas reservas determinadas reduce su duración en términos más espectaculares de lo que cabría imaginar a primera vista. Por ejemplo: si el consumo de carbón aumentase acumulativamente en un 1 por 100 anual, los tres mil quinientos años se reducirían a trescientos cincuenta.

Por otro lado, la cifra indicada es, en la terminología al uso, la de recursos estimados, porque la de reservas comprobadas es tan sólo el 13 por 100 de aquéllas, con lo que los tres mil quinientos años se reducen ya entonces a cuatrocientos sesenta.

Finalmente, de estas reservas tan sólo un 40 por 100, es decir, unos 600.000 millones de toneladas, resultan económicamente explotables en las condiciones presentes, lo que reduce la duración de las mismas a unos dos siglos al ritmo actual de consumo, lapso de tiempo que sigue siendo todavía muy tranquilizador y que se basa, como vemos, en estimaciones fiables, convirtiendo al carbón en el más abundante de los recursos fungibles en el estado actual de la tecnología.

En el caso del petróleo la situación no es ni tan clara ni mucho menos tan tranquilizadora. Los recursos totales estimados se valoran en 260.000 millones de toneladas, de los que las reservas comprobadas y explotables únicamente se cifraban en 80.000 millones de toneladas, que al ritmo de extracción de los últimos tiempos podrían durar unos treinta años (16).

Por consiguiente, el agotamiento de las reservas es aquí a plazo mucho más corto que en el caso del carbón, lo cual, unido al hecho de que el petróleo cubre aproximadamente la mitad de la demanda mundial de energía primaria, así como a las peculiaridades de este combustible en cuanto a su facilidad de transporte y a la diversificación de sus aplicaciones para la producción de energía y otros fines, justifican la honda preocupación que rodea todo lo que con él se relaciona desde hace algunos años.

Por último, las reservas de gas natural, combustible que, como hemos visto, cubre más de un 15 por 100 de la demanda anual de energía primaria, se estiman en unos 60 billones de metros cúbicos, lo que equivale a unos dos tercios de las de petróleo, cifradas en contenido energético.

Lo que ocurre es que el gas natural es un combustible cuya utilización plantea problemas específicos y

(11) M. Brown, ya citado; y también H. Messel: «Energy for Survival». Pergamon Press, Australia, 1979.

(12) Chauncey Starr: «Energy and Power», de «Energy». Scientific American, 1979.

(13) V. M. King Hubert, ya citado.

(14) Michel Grenon: «Global Energy Resources». Ann. Rev. of Energy, Vol. II, 1977.

(15) H. Messel, ya citado.

(16) «¿Hasta cuándo tendremos petróleo?». Interavia, núm. 10, 1979.

complejos de manipulación y transporte, que lo diferencian considerablemente del petróleo. Por ejemplo, un estudio de 1979 (17) muestra que el transporte de gas natural licuado desde el Golfo Pérsico hasta Japón cuesta siete veces más que el del petróleo.

Por ello el gas natural es todavía un producto de consumo predominantemente local, cuyo comercio internacional es del orden del 1 por 100 del consumo energético mundial, frente a más de un 25 por 100 en el caso del petróleo.

Es más, la producción de gas natural en los lugares de extracción del petróleo, sin posible utilización económica, motiva que se quemara anualmente en la atmósfera una cantidad de aquél que se estima en 200 millones de toneladas equivalentes de petróleo y que convierte el Golfo Pérsico en una espectacular luminaria, cuyas imágenes recogen los satélites de observación nocturna de la Tierra (18).

Sin embargo, las condiciones evolucionan aquí rápidamente, de modo que la cara y sofisticada industria de manipulación del gas natural se está desarrollando muy de prisa en los últimos años, por la evolución del panorama energético mundial y por las ventajas inherentes a esta clase de combustible.

Para terminar con el inventario de combustibles fósiles hay que referirse a los recursos no convencionales de petróleo y gas natural, tales como las pizarras y arenas bituminosas, crudos asfálticos, etc. (19). Se trata de reservas aún poco exploradas, salvo algunos grandes depósitos, como los de Canadá y Venezuela, pero se piensa que si la exploración se completa y la tecnología se desarrolla para permitir una explotación económica, tales recursos pueden duplicar o triplicar los del petróleo convencional y prolongar durante muchas décadas, por tanto, la era técnica de esta clase de combustible.

Para completar el inventario de recursos fungibles es necesario tomar en consideración los combustibles nucleares, lo que plantea algunas dificultades específicas originadas por la falta de datos correspondientes a los países socialistas, porque la exploración geológica de estas reservas está lejos de haberse completado y porque la tecnología nuclear están aún pendiente de desarrollos muy importantes, de los cuales depende mucho el significado energético de aquellos recursos.

Concretamente, si nos circunscribimos al uranio, que es el combustible natural de los reactores desarrollados, las reservas económicas estimadas del mundo no socialista se cifran en unos 3,5 a 4 millones de toneladas (20), cuyo contenido energético es del mismo orden de magnitud que el del petróleo, si se quemara en reactores de agua ligera o equivalentes y dos órdenes de magnitud mayor si se utiliza en reproductores rápidos, los cuales están aún pendientes de un desarrollo tecnológico muy importante y difícil (21). Por lo demás, las reservas de uranio se espera que se incrementen muy considerablemente sobre las citadas al proseguir la exploración geológica en años próximos, y parecen mayores las de torio, si bien el ciclo de este combustible aún no se ha industrializado.

En cualquier caso, como se ve, con la tecnología disponible la energía nuclear no cambia sustancialmente el panorama de las reservas fungibles a escala global.

Si en lugar de utilizarse la fusión del átomo se pudie-

se aplicar la reacción nuclear de fusión que tiene lugar en el interior de las estrellas, lo que requiere temperaturas de millones de grados, y plantea los problemas tecnológicos que cabe imaginar, entonces el combustible sería el deuterio, que se puede extraer del agua del mar y cuyo contenido energético total es sesenta mil millones de veces mayor que la energía consumida en el mundo en estos momentos. Por consiguiente, ahí sí se tiene una reserva prácticamente inagotable, aunque por el momento resulte inaccesible (22).

* * *

Al considerar los recursos energéticos del mundo hay que tener en cuenta otro aspecto fundamental del problema, por las implicaciones económicas y geopolíticas que ocasiona, como está ocurriendo muy agudizadamente desde hace algunos años, puesto que se trata de reservas de naturaleza estratégica, cuya desigual distribución es causa de uno de los más inquietantes factores del problema energético.

Me refiero naturalmente a la distribución geográfica de las mismas y a los problemas políticos y económicos que motiva. No es posible hacer aquí otra cosa que dejar constancia del problema, remitir a la bibliografía sobre el mismo (23) y dar algunos datos globales que permitan apreciar las situaciones de desequilibrio más significativas.

Por ejemplo, de las reservas comprobadas de carbón del mundo, dos tercios se encuentran en Estados Unidos, China y Rusia, en proporciones parecidas; una quinta parte, entre el Reino Unido, Alemania Occidental y Australia, en proporciones también similares, y el resto entre los demás países, en proporciones mucho menores.

Por lo que respecta al petróleo, algo más de la mitad de las reservas se encuentran en el Oriente Medio; Rusia y la Europa Oriental, de un lado; el Continente Americano, de otro, y África totalizan un tercio del total, en proporciones similares, mientras que Europa occidental, China y otros países orientales detectan un 10 por 100, con ligero predominio de Europa Occidental entre los tres. Por consiguiente, contrariamente a lo que ocurre con el carbón, la mayor parte de las reservas pertenecen a países no desarrollados y están concentradas en una zona geográfica que políticamente es muy inestable.

En cuanto al gas natural, un tercio de las reservas totales lo tiene Rusia; algo más de un cuarto, el Oriente Medio, y el Continente Americano, Europa occidental, África y el Extremo Oriente tiene una situación parecida a la del petróleo.

Por último, en cuanto al uranio, la distribución conocida favorece a los países desarrollados, especialmente a Estados Unidos, Canadá, África del Sur, Australia, Suecia, Francia, España y algunos otros, como Nigeria, India, etc.

* * *

Una consecuencia natural de la escasez de las reservas de petróleo y de su desigual reparto geopolítico es su encarecimiento espectacular, que ha multiplicado por un factor de 20 el precio del mismo desde que estalló la crisis energética en 1973 hasta hoy, así como su peligrosa utilización como arma política estratégica.

Como una medida del impacto de la energía en la actividad económica moderna, es la magnitud, extensión y continuidad de la crisis económica que el encarecimiento y la inseguridad de aquélla han desencadenado

(17) Messel, ya citado, página 179.

(18) Thomas A. Croft: «Nighttime Imagens of the Earth from Space». De «Energy and Environment», Sci. Am., 1980.

(19) V. Grenon, ya citado.

(20) Id. Grenon. También, De Verle P. Harris: «World Uranium Resources». Ann. Rev. of Energy, Vol. IV, 1979.

(21) Bernard I. Spinrad: «Alternative Breeder Reactor Technologies». Ann. Rev. of Energy, Vol. III, 1978.

(22) R. F. Post: «Nuclear Fusion». Ann. Rev. of Energy, Vol. 1, 1976.

(23) Daniel B. Luten: «The Economic Geography of Energy». Energy and Power, ya citada. M. Grenon y H. Messel, ya citados. Hans K. Schneider: «International Energy Trade: Recent History and Prospects». Ann. Rev. of Energy, Vol. II, 1977.

en todo el mundo, crisis que constituye una de las más siniestras manifestaciones del problema energético.

La situación de reservas, consumos y desequilibrios que acabamos de revisar brevemente es necesario completarla con algunos otros aspectos del problema energético para tener una imagen clara del mismo.

El primero se refiere al destino final del consumo energético primario, el cual, en una sociedad desarrollada, como, por ejemplo, la del grupo de países de la Comunidad Económica Europea, se reparte aproximadamente en la forma siguiente: algo más de un 40 por 100, para necesidades industriales, bien sea en forma de potencia o de calor de proceso; algo más de un tercio, para fines domésticos y comerciales, tales como la calefacción y refrigeración, el alumbrado, las telecomunicaciones, los electrodomésticos, etc.; por último, del orden de una quinta parte, para el transporte marítimo, terrestre y aéreo.

En los Estados Unidos de América los transportes consumen un porcentaje mayor, del orden del 26 por 100, mientras que en nuestro país los servicios domésticos y comerciales consumen mucho menos que cualquiera de los demás (una tercera parte), en beneficio de la industria y los transportes, que tienen una cuota bastante más elevada que en los otros países (24).

El tema es importante porque ante una situación como la que está atravesando el mundo, de insuficiencia de recursos y encarecimiento de los suministros, las primeras acciones que se plantean, y que todos los países han puesto en práctica con mayor o menor fortuna, son los programas que suelen llamarse de «conservación de la energía» (25), orientados a prevenir el despilfarro energético, y cuyo tratamiento eficaz requiere, para orientarlos, operar con un nivel de desagregación del consumo muy fuerte, como base de partida para un análisis riguroso de las acciones realmente útiles y de sus implicaciones sociales, tecnológicas y económicas.

* * *

Otro tipo de acciones, de más largo alcance, se refiere a la búsqueda y desarrollo de fuentes alternativas de energía dentro del amplio espectro de posibilidades que ofrece la Naturaleza en el nivel de desarrollo científico y tecnológico que ha alcanzado la Humanidad (26).

Es aquí donde se inscriben, junto a los desarrollos previstos de formas, como la nuclear, que se consideraba hasta hace poco bien establecida, pero que desde hace algunos años se está cuestionando bastante, por razones de seguridad y ecológicas, el empleo de otras fuentes, hoy marginales, como la solar, geotérmica, del viento, biomásica, etc., así como la utilización, bajo nuevas tecnologías, de otras clásicas, como el carbón, y la incorporación de formas nuevas, como el dudoso empleo del hidrógeno en gran escala, etc.

Porque para hacer las cosas aún más difíciles, problemas de seguridad y ecológicos, que son graves y reales, y que no se refieren solamente, como es bien sabido, a la energía nuclear (27), han venido a complicar

(24) G. B. Zorzoli: «El dilema energético». H. Blume Ediciones Rosario 17, Madrid, 1978. Joel Darmstadter, Joy Dunkerley y Jack Alterman: «International Variations in Energy Use: Findings from a Comparative Study». Ann. Rev., Vol. III, 1978.

(25) Varios autores: «Energy Conservation». Ann. Rev. of Energy, Vol. I, 1976, págs. 455 y siguientes. Robert H. Socolow: «The Coming Age of Conservation». Id., Vol. II, 1977, pág. 239. G. B. Zorzoli, ya citado.

(26) James P. Hurtnett: «Alternative Energy Sources». Academia Press, 1976.

(27) «Impacts of Energy on Environment, Health and Safety», por varios autores. Ann. Rev. of Energy, Vol. I, 1976, págs. 553 y siguientes. John Harte and Alan Jassby: «Energy Technologies and Natural Environments: The Search for Compatibility». Ann. Rev. of Energy, Vol. III, 1978. R. Siever: «Energy and Environment», por varios autores. Sci. Am., 1980.

sustantivamente la cuestión, incorporando factores políticos y emocionales, que condicionan fuertemente las decisiones de los Gobiernos, en beneficio a menudo de imaginarias soluciones más o menos utópicas, en las que se suele asignar a las energías llamadas «blandas» misiones muy superiores a las de sus propias posibilidades actuales, bajo bucólicas formas de descentralización energética (28).

En definitiva, ante una situación como la que plantea el problema de la Energía, cuyo tratamiento están aún en una fase de balbuceos, todas las acciones descritas y las que en el futuro puedan ir adoptándose han de contemplarse bajo la perspectiva que proporciona la visión global del sistema energético como un todo a escala mundial (29) e inscribirse para cada país en un Plan Energético Nacional a largo plazo, cuya elaboración exige la aplicación de técnicas nuevas, muy sofisticadas y complejas (30), y cuya aceptación y puesta en práctica se convierte, frecuentemente, en un tema político mayor, que, para decidir sobre algunos de sus aspectos, obliga incluso, como se ha visto en los últimos tiempos, a apelar a un referéndum nacional.

* * *

Hasta aquí hemos hablado de la Energía, de sus formas, de las reservas energéticas del planeta y de su empleo, del destino final del consumo y de algunos de los problemas que todo ello plantea.

Pero, hay otro aspecto de la cuestión, también de la máxima trascendencia, que requiere una consideración especial. Me refiero a las formidables implicaciones tecnológicas de la producción, distribución y consumo de energía (31) y a los efectos sociales, económicos e industriales que inducen (32).

Piénsese, por ejemplo, en la industria de extracción, transporte, tratamiento, distribución y consumo del petróleo o el gas natural, o bien en la de las centrales nucleares y el ciclo de combustible asociado a las mismas, para apreciar las connotaciones tecnológicas y de toda índole asociadas al empleo de nuevas fuentes de energía, que se puedan utilizar en medida sensible y no marginal, a la escala de los sistemas energéticos en uso.

* * *

Y las cosas han sido siempre así, a lo largo de la Historia, porque probablemente nada ha condicionado tanto el progreso de la Humanidad como la disponibilidad de nuevos recursos energéticos o del modo de transformarlos en trabajo útil, lo cual ha sido siempre, en primer lugar, un problema básicamente tecnológico.

Las sucesivas y laboriosas etapas de ese desarrollo, arrancan con el trabajo manual, que fue el único recurso del hombre primitivo durante varios millones de años. En esa fase inicial, tan penosa y tan larga, la única fuente de energía era el sol, por el calentamiento de la radiación directa y en forma biomásica, almacenada en los alimentos.

(28) Among B. Loving: «Soft Energy Technologies». Ann. Rev. of Energy, Vol. III, 1978, pág. 477. G. B. Zorzoli, ya citado.

(29) W. Häfele y W. Sassin: «The Global Energy System». Ann. Rev. of Energy, Vol. II, 1977. Thierry de Montbrial: «Energy. The Countdown». Informe al Club de Roma, Pergamon Press, Oxford, 1979.

(30) K. C. Hoffman y D. O. Word: «Energy System Modeling and Forecasting». Ann. Rev. of Energy, Vol. I, 1976. J. M. Beaujean, J. P. Charpentier y N. Nakionovic: «Global and International Energy Models. A Survey». Ann. Rev. of Energy, Vol. II, 1977. R. S. Hartman: «Frontiers in Energy Demand Modeling». También M. Greenberger y R. Richels: «Assesing Energy Policy Models: Current State and Future Directions». Ann. Rev. of Energy, Vol. IV, 1979.

(31) D. M. Cosidine: «Energy Technology Handbook». McGraw-Hill Book Comp., Nueva York, 1977.

(32) J. T. McMullan, R. Morgan y R. B. Murray: «Energy Resources and Supply». John Wiley and Sons, Nueva York, 1979.

En una fecha imprecisa, pero hace varios cientos de miles de años, el hombre se adueñó del fuego que le proporcionó protección, calor y, andando el tiempo, nuevas formas de preparación de sus alimentos y de elaboración de sus utensilios.

Los primeros indicios que se tienen de ello proceden de Hungría, de donde precisamente es originario también el eminente físico Edward Teller, a quien se considera el padre de la bomba de Hidrógeno. El profesor Teller, en un reciente libro, extraordinariamente ameno e interesante, titulado «Energía del Cielo y de la Tierra» (33), describe la fascinante Historia de la Energía y de sus previsibles proyecciones hacia el futuro.

En él, abrumado quizás por su contribución al desarrollo del arma más poderosa y destructiva de la Humanidad, Teller recuerda el mito de Prometeo y el castigo que mereció de Zeus por haber robado el fuego divino del Olimpo para servir a los mortales. Yo pienso que se trata, sin duda, de una de las páginas más bellas y de más profundo simbolismo de la Mitología griega, que además acaba bien, puesto que Prometeo fue finalmente redimido de su castigo quiero pensar que porque sus intenciones eran buenas, aunque la frivolidad de aquellas divinidades dejaban poco margen al altruismo.

Como recuerda su nombre, el previsor Prometeo, que era muy buen amigo del hombre, compadecido del desamparo de éste, en una Naturaleza hostil, quiso ayudarle a dominarla, como ha ocurrido realmente, proporcionándole el fuego, el andar erguido como los dioses y la inteligencia de Atenea, lo que evidenciará qué bien supieron captar los griegos el poder que encerraba el dominio de estas facultades.

El uso controlado del fuego incorporó una nueva fuente de energía: la de combustión, y permitió triplicar, aproximadamente, la energía consumida por cada individuo (34), lo que se tradujo en una mejora considerable de su alimentación, vivienda y seguridad.

El siguiente paso energético se dio mucho después, hace unos diez mil años, al final de la última era glacial, en la región de Mesopotamia y posiblemente también en algunos otros lugares de Oriente y de América. Consistió en la domesticación de los animales, para la alimentación y el trabajo, y en la introducción de la agricultura, lo que más tarde permitió transformar una sociedad de cazadores en otra sedentaria. Fue la civilización Neolítica que se desarrolló en las zonas templadas de Europa y América, a la que siguió la fundación de las grandes ciudades, que desembocaron finalmente en las civilizaciones clásicas de Mesopotamia, Egipto, Grecia y Roma.

Desde el punto de vista energético, el empleo de los animales para el trabajo no introdujo nuevas fuentes, sino nuevos motores de sangre, lo que permitió duplicar aproximadamente, una vez más, la energía disponible por individuo, y la mejora en las condiciones de vida que se logró con ello y con el cultivo agrícola, determinó un crecimiento explosivo de la población que, como hemos dicho, a comienzos de nuestra era alcanzaba los 250 millones de personas, con un consumo energético individual de unas 12.000 calorías diarias.

Como en el caso del fuego, la mitología griega también atribuye a los dioses el regalo del caballo al hombre, que apareció en Mesopotamia y que deberíamos agradecer a Poseidón, hermano de Zeus, así como el de la brida que permitió domesticarlo y con la que nos obsequió la hija predilecta de éste, Palas Atenea, diosa que ejercía su diligente protección sobre la ciudad, la artesanía y la agricultura.

También el viento, una nueva fuente, aunque su origen

último sea la radiación solar, se utilizó desde muy pronto, para la navegación a vela, que se inició en Egipto hace unos 4.500 años, y en los molinos, cuyas primeras noticias se datan en la India, hace unos 2.400 años, aún cuando su uso generalizado se produjo a lo largo de la Edad Media, para la extracción de agua de riego y para moler grano, primero en Persia y Afganistán y más tarde en Europa.

Otro paso muy importante en el proceso del desarrollo energético fue el empleo del agua como fuente de energía, especialmente para moler los cereales que han constituido una de las bases de la alimentación durante milenios y cuya molienda, primero a mano y luego por tracción animal, fue un trabajo muy penoso y absorbente, hasta la invención de la rueda hidráulica. Al principio se emplearon ruedas de eje vertical, solución muy primitiva, de escasa potencia y de rendimiento muy bajo, pero más tarde se introdujeron las de eje horizontal, desarrollo que implicó la resolución de algunos problemas tecnológicos complejos, relativos a la transmisión de la potencia generada, la cual llegó a alcanzar niveles de consideración en algunas instalaciones muy antiguas.

Durante la Revolución Industrial, la máquina de vapor desplazó a la rueda hidráulica, hasta que a partir de 1875 Francis, Pelton y Kaplan desarrollaron las turbinas que llevan sus nombres, las cuales sirven de motores para la generación de electricidad en centrales hidroeléctricas, que en ocasiones, alcanzan hoy potencias de varios millones de Kw. En la actualidad, aproximadamente un 5 por 100 de la energía primaria mundial es de origen hidroeléctrico, pero nuevas tecnologías, como las centrales de bombeo, unidas al encarecimiento de las energías de origen térmico, han renovado el interés por la energía hidroeléctrica, de la que existen grandes recursos sin explotar todavía. Además la energía hidroeléctrica tiene la ventaja de ser «limpia» y su rendimiento se aproxima mucho al teórico del 100 por 100, a diferencia de lo que ocurre con las máquinas térmicas, en donde raramente pasa del 40 por 100.

El calor solar, la agricultura y ganadería, el trabajo animal, el viento para la navegación y los molinos y las ruedas hidráulicas, proporcionaron las bases energéticas de las civilizaciones clásicas y de épocas posteriores, hasta llegar a la Revolución Industrial, sin otra conquista sustantiva que el perfeccionamiento de los utensilios, la generalización en el uso de los recursos, incluidas algunas nuevas aplicaciones y la invención de la pólvora, para usos militares, que el célebre físico y astrónomo holandés Cristian Huygens intentó, sin éxito, emplear como combustible de una máquina de pistón para producir trabajo mecánico.

Por ejemplo: el empleo de las herraduras, las colleras y las guarniciones, todo lo cual data del siglo X, permitió usar racionalmente la potencia de los caballos y unirlos en tiros múltiples, lo que significó un progreso importante en la explotación de la energía animal.

Por cierto que el estudio completo de las fuentes de energía requeriría un capítulo dedicado a los explosivos, cuya época moderna, después de la pólvora, nace a mediados del siglo pasado con los descubrimientos de la nitrocelulosa, debido al químico suizo Christian F. Schönbein, descubridor también del ozono, a quien le dio ese nombre, y de la nitroglicerina, por el químico italiano Ascanio Sobrero, y con la invención de la dinamita, realizada en 1866 por el fabricante sueco de nitroglicerina Alfred B. Nobel, lo cual permitió la manipulación sin riesgos de los nuevos explosivos, para aplicaciones tanto militares como civiles.

El paso siguiente en el desarrollo energético de la Humanidad fue la conversión del calor en trabajo mecánico, mediante la invención de la máquina de vapor.

Esta y la siderurgia convirtieron al carbón en la fuente energética básica de la Era Industrial, lugar del que tan

(33) E. Teller: «Energy from Heaven and Earth». W. H. Freeman and Co., San Francisco, 1979.

(34) V. H. Brown, ya citado.

sólo ha sido parcialmente desplazada hace poco por el petróleo, cuya utilización arranca de las perforaciones del coronel Edwin L. Drake, en Pensilvania, en 1859.

La transformación del calor en trabajo mecánico y el empleo de los nuevos combustibles, condujeron a la invención de nuevas máquinas, como los motores de combustión interna, cuyo desarrollo se inicia en 1859 con el motor de gas de E. Lenoir, al que siguieron la invención del ciclo de cuatro tiempos, de Nicolás A. Otto, en 1877; del motor de gasolina, de C. Benz, en 1879; del motor rápido de G. Daimler, en 1883, y del motor de gasoil de R. Diesel en 1893. Las turbinas de vapor, de acción, del sueco De Laval, en 1882, y de reacción, del inglés Ch. Parsons, en 1884, y, ya en nuestra época, las turbinas de gas, cuyo desarrollo sólo ha sido posible cuando la tecnología de los materiales ha alcanzado un progreso suficiente. Finalmente, están los motores de reacción.

Entre tanto, otra forma revolucionaria de energía había hecho su aparición: la energía eléctrica, nombre introducido con gran fortuna por el físico y médico real inglés William Gilbert en 1600, y cuyas primeras aplicaciones para la generación de potencia datan de los trabajos del físico italiano Alejandro Volta, que en 1800 introdujo la transformación de la energía química en eléctrica, mediante las pilas que llevan su nombre y de las que se hizo extenso uso en diversas aplicaciones, incluidos los automóviles eléctricos, de los que a comienzos del siglo se fabricaron varios miles de unidades, en sería competencia, durante las primeras etapas del automovilismo, con los propulsados por motor de gasolina.

Ahora que el automóvil eléctrico vuelve a cobrar actualidad, a causa de la crisis energética, es justo recordar este antecedente, que también se da con desigual fortuna en otras muchas aplicaciones. Tal es el caso, por ejemplo, en el aprovechamiento de la energía solar, cuya primera realización moderna para la generación de trabajo data de la Exposición Internacional de París, en 1878, y se debe al ingeniero francés Mouchat. O bien, en el aprovechamiento de la diferencia de temperatura entre la superficie y el fondo de los mares, cuyos fundamentos estableció el científico francés Jacques D'Arsonval en 1881 y cuyos primeros intentos de realización práctica se deben a su alumno Georges Claude, que a partir de 1930 llevó a cabo experimentos a escala natural, en las proximidades de la isla de Cuba. En nuestros días, estas ideas adquieren renovada actualidad, merced a los progresos tecnológicos, con el proyecto llamado OTEC (Ocean Thermal Energy Conversión) (35).

Volviendo a la energía eléctrica, aún cuando las baterías proporcionaron una nueva fuente de energía de la que se sigue haciendo extenso uso en determinadas aplicaciones, incluidos los acumuladores ideados por Gastón Planté, el gran desarrollo de esta fuente de energía a partir del trabajo mecánico y reciprocamente hubo de esperar a los descubrimientos de Oersted, Ampere, Sturgeon y Faraday sobre el electromagnetismo, todos los cuales se llevaron a cabo en el primer cuarto del siglo pasado, y a las invenciones de la dinamo y el motor eléctrico del alemán Werner von Siemens, medio siglo más tarde. Como es sabido, la primera central eléctrica fue construida por Tomas Alba Edison, en Nueva York, en 1882, dotada de una potencia de 90 Kw.

La última etapa de este fascinante proceso de los descubrimientos, y conquistas de nuevas fuentes de energía y de las invenciones requeridas para su explotación, corresponde a la energía nuclear, cuya historia ha sido descrita en el libro antes citado, en términos extraordinariamente vívidos y amenos, por el profesor Teller, testigo y participante de excepción en el celebre Proyecto

Manhatan, que hizo asequible al hombre, la nueva forma de energía y que se inició en el umbral de la Segunda Guerra Mundial, bajo los sombríos augurios del cataclismo que se avecinaba.

Ningún otro proyecto tecnológico del hombre se inició con fundamentaciones científicas tan complejas y profundas como éste; ni dio lugar a una concentración de eminentes científicos como el que la bomba atómica reunió en Estados Unidos, muchos de ellos huidos de una Europa hostil y convulsa; ni se concluyó con un nivel de secreto como el que allí logró mantenerse, ni tuvo consecuencias de tan largo alcance como las que abrió la era nuclear para el futuro de la Humanidad.

* * *

En una publicación aeronáutica, como ésta, no quisiera terminar sin aludir por un momento a algunos aspectos energéticos de la Tecnología Aeroespacial. Porque, si bien es cierto que el consumo energético del avión, por unidades de peso y distancia, es bastante mayor que el de cualquiera de los sistemas alternativos de transporte, la demanda total para estos fines es un porcentaje muy pequeño del total. Como es sabido y lo he comentado aquí mismo en alguna otra ocasión, la economía de potencia por unidad de peso y consumo ha sido una constante del desarrollo de la tecnología aeroespacial, desde sus comienzos hasta nuestros días, y ello no sólo por exigencias económicas, sino también y muy especialmente por requerimientos intrínsecos del propio sistema. Y los resultados obtenidos me parece que han sido también, y creo que continúan siendo espectaculares, de modo que resultan, en materia de ahorro energético, muy superiores a los de los demás sistemas de transporte. Hoy mismo, la preocupación por este tema sigue siendo dominante, como lo acredita la difusión de los trabajos y programas en curso, los cuales muestra que todavía, por ejemplo, la combinación de un conjunto de nuevos recursos tecnológicos permitiría economías de potencia, en los futuros aviones de transporte, de hasta un 35 por 100 con respecto a los espectaculares niveles ya alcanzados en la actualidad.

Por otra parte, la contribución aeroespacial a la tecnología energética en general, ha sido y continúa siendo muy grande, en motores, materiales, combustibles y lubricantes, rendimientos y sistemas nuevos.

Recordemos, por ejemplo, la turbina de gas, de tan relevante papel en el presente y cara al futuro, para la generación de energía eléctrica y en otras aplicaciones; o los grandes cohetes portadores de cargas espaciales, o las células solares que proporcionan energía a los satélites y sondas espaciales, o las células eléctricas de combustible y tantos otros ejemplos que podrían mencionarse, como realizaciones actuales o en las fases de factibilidad y desarrollo.

Entre estos últimos, hay dos que quisiera mencionar para poner término a esta prolija y recargada exposición.

El primero se refiere a la utilización del hidrógeno como una de las fuentes ideales de energía, a cuyo desarrollo está contribuyendo fuertemente la tecnología aeroespacial, sobre las bases establecidas en el Simposio celebrado para ello en Stuttgart, en septiembre de 1979.

El segundo es el proyecto de Peter Glaser, llamado SPS, de construcción de un satélite gigante para transformar directamente, fuera de la atmósfera, la energía solar en eléctrica y enviarla a la Tierra mediante microondas o por láseres de potencia (36), el vehículo energético de más reciente invención, lo que corresponde a un futuro de arriesgada previsión, por lo que terminaré aquí mis comentarios.

(35) Gordon L. Dugger: «Is There a Chance for OTEC?». *Astronautics and Aeronautics*, noviembre 1979.

(36) «Solar Power Satellites». *Astronautics and Aeronautics*, enero, 1979.