

## LA CRISIS MUNDIAL DE LA ENERGIA

Dado el ritmo con que se aceleraba el consumo de la energía, apenas si cabían dudas de que una crisis mundial había de producirse dentro de diez o quince años. El que se haya iniciado por el petróleo, cuyos precios se han cuadruplicado en un año, era inevitable. Nadie ignoraba, lo mismo los Estados productores que los consumidores, que las reservas mundiales de petróleo actualmente conocidas estarán agotadas a principios del siglo próximo. Era del todo natural que aquellos que las poseen, antes de que venza el plazo, quieran transformarlas en inversiones remuneradoras tanto en su país como en el extranjero.

Por el hecho de que la crisis se haya iniciado en los Estados Unidos, que abastecieron de petróleo a la Europa occidental con motivo del primer cierre del canal de Suez en 1956, parece bastante sorprendente. Sin embargo, la noticia facilitada en febrero de 1973, cuando dirigentes de grandes compañías petroleras visitaron al presidente Nixon, apenas si permitía dudar de su inminencia. Más de 2.000 gasolineras se cerraron durante el primer semestre de 1973; las demás racionaban a sus clientes. Con todo, les quedaba a los usuarios el recurso de limitar sus desplazamientos o de recurrir a los transportes colectivos. Pero tal recurso no estaba al alcance de los tractores y las cosechadoras-trilladoras de los agricultores de Kansas y otras regiones de gran cultivo de cereales, que no habían pensado en constituir reservas de carburante.

Dos factores explicaban la crisis norteamericana de 1973: la aceleración del índice de crecimiento del consumo, el acentuado recurso a fuentes de energía cuyas reservas son las menores, petróleo y gas, en perjuicio de aquéllas, como el carbón, cuyas reservas pueden satisfacer las necesidades de los Estados Unidos durante varios siglos. A raíz de la II Guerra Mundial, el consumo de petróleo aumentó sobre una base anual del 3 al 5 por 100. En 1972 aumentó al 7 por 100. Los automóviles eran cada vez mayores; la implantación de medidas en materia de escape no nocivo se tradujo en un

consumo netamente superior en igualdad de potencia. Una compañía de taxis neoyorquina estimó el suplemento de consumo kilométrico en más del 30 por 100 al sustituir los vehículos del modelo 1971 por el modelo 1973. En ese creciente consumo de energía la parte correspondiente al carbón disminuye paulatinamente. De dar crédito a las cifras facilitadas por el Comité del Petróleo de la OCDE, la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico, que agrupa a la mayoría de los países industrializados, la parte correspondiente al carbón ha descendido en los Estados Unidos del 23,5 por 100 en 1960 al 20 por 100 en 1970; con arreglo a sus previsiones, descenderá al 17,5 por 100 en 1980. Según esa misma fuente, la parte correspondiente al petróleo no ha variado sensiblemente. El aumento más importante corresponde al gas natural: 29,1 por 100 en 1960, 33,9 por 100 en 1970. Ello explica los contratos de importación de gas natural licuado suscritos por los Estados Unidos con diversos Estados productores. Habida cuenta del camino emprendido por los Estados Unidos, el señor James Atkins, responsable de la política energética en la Secretaría de Estado, predecía el año pasado que las importaciones de petróleo serían cinco veces mayores en 1980 que en 1970.

A diferencia de los Estados Unidos y la Unión Soviética, la Europa occidental registra un déficit extremadamente grave de energía. Esa carencia no le ha impedido alcanzar la prosperidad gracias a importaciones masivas de petróleo, hechas en condiciones muy favorables. Pero descubre que, hoy por hoy, es prácticamente imposible poner de nuevo en explotación minas de carbón que contienen ciertamente miles de millones de toneladas de reserva, si bien difícil de extraer a precio aceptable. Para su siderurgia, no ve otra solución que importar hulla de los Estados Unidos. Tal es el caso para la totalidad del acero que se produce en Italia. Francia la imita, primero en Dunquerque; seguidamente, este año, en Fos, cerca de Marsella, a un tiempo que sigue cerrando las menos productivas de sus minas de carbón de Lorena y el Norte. El consumo de energía en Europa occidental ha aumentado aproximadamente el 75 por 100 entre 1960 y 1970. Pero la parte correspondiente al carbón se ha reducido, en el mismo período, del 68 al 32 por 100, mientras que la del petróleo duplicaba en valor relativo y triplicaba en valor absoluto. En cuanto a la energía nuclear, de la que se esperaba un rápido desarrollo en 1960, no representa, actualmente sino algo más del 2 por 100 de la producción total; las nuevas centrales que entrarán en servicio están subordinadas a la puesta en marcha previa de fábricas

de producción de uranio enriquecido, que necesitan años para estar en condiciones de funcionar.

#### LA ENERGÍA DEL VIENTO

Muy decidido a asegurar la independencia energética de su país para 1980, el presidente Nixon impulsó un conjunto de investigaciones sobre la utilización de los recursos energéticos más variados; alguno de ellos, tal como el recurso a la energía solar, también se estudió en Europa.

¿Puede el molino de viento contribuir a resolver el problema? Sin duda no siempre sopla el viento y por doquier con regularidad. Pero los molineros que preferían los molinos de agua se exponían igualmente a los períodos de sequía. La NASA, administración nacional para el espacio y la aeronáutica, decidió en la pasada primavera construir una central eléctrica de viento de 100 kW cerca de Sandusky, en Ohio. A tal fin recibió, para 1974-1975, una subvención de 865.000 dólares de la National Science Foundation. La construcción se iniciará a principios del próximo enero y facilitará corriente en julio de 1975. El velamen, sujeto en lo alto de una columna de apoyo metálica de unos cuarenta metros de altura, se presenta en forma de rueda móvil con dos alas. Los 100 kW se conseguirán con viento de poco menos de 30 km/h., girando entonces la rueda móvil a 40 revoluciones por minuto. La energía producida por el generador eléctrico sujeto en lo alto de la columna de apoyo, es de corriente alterna. El mantenimiento de la frecuencia a su valor constante exige, evidentemente, una velocidad constante de rotación del velamen. Se obtiene mediante un dispositivo automático que orienta el velamen de cara al viento y modifica a cada instante la inclinación de las dos alas. Para esta última realización, se construirá la rueda móvil con aleación ligera, a modo de un velamen de avión. Pero ya se considera desde ahora, para las demás centrales, materias más modernas, fibras de vidrio o materias compuestas. La NASA estudia actualmente otras dos centrales eléctricas según la misma fórmula, de las cuales una de 250 kW y la otra de potencia aún sin determinar, que podría estar comprendida entre 500 y 3.000 kW.

En lugar de esas centrales a escala de pequeña ciudad, ¿no se podría transponer el molino de viento de antaño a nivel de vivienda individual a la que alumbraría y calentaría? Sin duda, también cabe temer la calma chicha o la tormenta que obligaría a detener el funcionamiento. Pero, igualmente en este caso, no está vedado completar la instalación con una bate-

ría de acumuladores, que garantizaría por lo menos un mínimo de alumbrado, y con unas cuantas botellas de propano o butano que permitirían guisar y tener calefacción. La primera instalación de central eléctrica individual, cuya energía proviene del viento, acaba de emprenderla Grumman en los Estados Unidos. Se trata de un importante constructor aeronáutico que ha acometido la empresa por sugerencia de la Universidad de Princeton. La rueda móvil del «Sailwieg», nombre con el que se designa esa instalación, tendrá 7,50 metros de diámetro. Se construirá con aleación ligera, como el mástil que lo sustenta. El conjunto pesa algo menos de 150 kilogramos. La rueda móvil es un derivado de ala de avión. Pero, a diferencia del proyecto de la NASA en Sandusky, la rueda móvil comprenderá tres alas en lugar de dos. La construcción está lo bastante avanzada como para que las pruebas del prototipo puedan llevarse a cabo este otoño. Se prevé un funcionamiento experimental de un mes. La construcción en serie se iniciaría en enero de 1975. Según los promotores de la Universidad de Princeton, el precio estará comprendido entre 3.500 a 4.000 dólares para una potencia aproximada de 7 kW, incluida la batería de acumuladores. Por tanto, no superaría la capacidad adquisitiva de numerosos clientes que, en los Estados Unidos, huyen cada vez más del centro de las grandes urbes como Nueva York o Chicago y prefieren una residencia individual a unos veinte kilómetros.

#### LA ENERGÍA SOLAR

¿Está la humanidad en «los albores de la edad solar»? Es lo que afirmaba en julio de 1973 Wernher von Braun en el mensaje dirigido a los 630 científicos de 70 países reunidos en congreso en París, en la sede de la UNESCO, para discutir las aplicaciones posibles de la energía solar. Por supuesto, también en este caso, las investigaciones norteamericanas no eran ajenas a los gigantescos proyectos que allí se discutieron. Ya en junio de 1971, el presidente Nixon sugirió el recurso a la energía solar, la única, afirmó, que fuera verdaderamente inagotable. Por lo demás, ninguna otra se ha utilizado desde hace más tiempo. Mucho antes de que Arquímedes incendiara con sus espejos los barcos romanos durante el sitio de Siracusa, los egipcios conocían ya lo que se llama «el efecto de estufa»: el calentamiento de un cuerpo expuesto al sol en un recipiente de cristal. El museo de Estocolmo conserva un «horno solar» que data de 1612, cuyo principio

es el mismo que el de Odeille-Font-Romeu construido por Francia en los Pirineos tres siglos y medio después.

Mientras no se rebasen temperaturas del orden de 50° a 100° C, la calefacción solar no tropieza con dificultades. Desde 1960, más de trescientos mil calentadores de agua de energía solar estaban en servicio en Japón. Se estima que en ese país su desarrollo actual es de dos millones, y de ocho millones en el mundo entero. Se utilizan en la Unión Soviética, Israel, Florida e incluso en Gran Bretaña, combinados con un depósito de agua caliente de varios cientos de litros que, bien aislado, mantiene su contenido a unos 50° C. La cocina solar es ya más complicada. Canadá ha regalado una a Haití, donde se ha agotado la leña, para preparar la comida de 240 escolares. En vano se ha incitado a la India a desarrollar este instrumento de cocción a escala familiar: sus habitantes prefieren preparar sus alimentos quemando boñigas de vaca, que serían de mejor aplicación utilizadas como fertilizantes. La destilación del agua de mar se basa en ese fenómeno natural que es la evaporación del agua de los mares por radiación solar, con precipitaciones en forma de lluvia sobre los continentes. En el mar Egeo, la pequeña isla griega de Nysiros abastece de agua potable a sus 700 habitantes con unos treinta destiladores solares del agua de mar.

De todas las recuperaciones de calor solar a baja temperatura, la más interesante es seguramente la calefacción de las viviendas. Se está desarrollando actualmente en Japón y los Estados Unidos. Solamente en este último país se confía en que el 10 por 100 de las casas que se construyan en adelante recuperarán, mediante el ala sur de su tejado, bastante calor como para asegurar una calefacción más económica que la calefacción de gas o petróleo. El agua caliente se almacenará en un depósito no aislado en el subsuelo, rodeado de unas decenas de metros cúbicos de piedra que formen pantalla de calor en los días nublados. Claro es: se impone un aislamiento correcto de la vivienda que asegure una pérdida de calor muy inferior a la de la mayor parte de las actuales residencias individuales. El presidente Nixon insistió sobre el particular en su mensaje al Congreso del 8 de febrero de 1972. Francia ha acometido recientemente un programa de viviendas con calefacción solar. Su gobierno, que subvenciona numerosas construcciones de viviendas, ha ido incluso más lejos que el presidente Nixon en sus consejos: supedita tal subvención a una obligación de aislamiento correcto.

La refrigeración solar plantea ya problemas más difíciles. Los frigoríficos

cos más sencillos reposan sobre el recurso a una solución de amoníaco en el agua que absorbe 900 veces el volumen de ese gas a 0° C. Mediante calefacción solar se separará el amoníaco gaseoso, que se condensará en otro recipiente. Su evaporación ulterior es la que produce el frío. Ya se han hecho diversos experimentos en Francia y, en Montpellier, se ha conseguido una media de 75 Kg. de hielo al día; posteriormente se han hecho en la Unión Soviética, donde la producción diaria de la instalación de Tachkent asciende a 250 Kg. Otras realizaciones están en estudio en Brasil y los Estados Unidos. En este último país no se duda que una producción industrializada sea rentable: la vivienda solar proporcionaría a un tiempo calefacción, alumbrado y refrigeración.

La cuestión se complica tan pronto como se pretende la utilización de la radiación solar para la instalación de energía mecánica o eléctrica de gran potencia. En el último congreso de la UNESCO se expusieron los criterios más divergentes sobre las realizaciones posibles. Con buen tiempo, por cada metro cuadrado de superficie normalmente expuesta a los rayos solares, éstos proporcionan una potencia de 1,4 kW. Los más optimistas de los defensores de la energía solar, entre los cuales varios profesores de esa especialidad en algunas universidades norteamericanas, llegaron a la conclusión de que, para satisfacer la totalidad de las necesidades de ese país en el año 2000, bastaría con transformar en energía utilizable el 0,5 por 100 de la energía solar que recibe el territorio de los Estados Unidos. Los pesimistas objetaron el escaso rendimiento y el enorme coste de esa captación y transformación. Por lo demás, todos estuvieron de acuerdo sobre cierto gigantismo requerido por las instalaciones. En Francia, el horno solar pirenaico de Odeille-Font Romeu, en servicio desde hace más de veinticinco años, comprende un espejo de 54 metros de diámetro, constituido por 8.000 espejos elementales. En la Unión Soviética, en Tachkent, la superficie reflectante—ocho veces mayor que en Francia, con cerca de 20.000 metros cuadrados— está dividida en 1.300 espejos de 15 metros cuadrados cada uno. Estos se hallan dispuestos en otros tantos vagones, distribuidos en 23 trenes que se desplazan en vías concéntricas. La caldera hacia la que reflejan la radiación está situada en una torre a 40 metros del suelo.

El grado extremo de gigantismo lo propuso, en el congreso de la UNESCO, el profesor norteamericano Peter Glaser. En casi todos los satélites, las necesidades de energía se atienden con fopilas, pequeñas placas de unos cuantos centímetros cuadrados de silicio que transforman la energía solar

en energía eléctrica, con un rendimiento por lo demás bastante escaso. ¿Por qué, se ha preguntado al profesor Glaser, no aplicar esa solución a una central solar colocada en órbita geoestacionaria, a unos 36.000 kilómetros de la superficie terrestre, donde una fábrica receptora recogería la energía así producida? Los detalles de la instalación y las cifras facilitadas por el profesor Glaser son, desgraciadamente, inquietantes en cuanto al coste de la instalación. La superficie de los dos paneles de células solares sería de 25 kilómetros cuadrados para cada uno. El peso total de la instalación especial alcanzaría 13.000 toneladas para una potencia del orden de 5.000 a 10.000 megavatios. La fábrica espacial transmitiría su energía a la Tierra después de transformarla en un haz de microondas dirigido hacia un dispositivo de recepción de 35 kilómetros cuadrados. Al precio actual de las células solares, del orden de 100 dólares por vatio, el coste del conjunto sería inaceptable. Pero, para 1980, la National Science Foundation prevé un precio cincuenta veces más reducido, dos dólares por vatio, y el profesor Glaser piensa incluso poderlo rebajar a un dólar por vatio hacia finales del siglo. El precio total sigue siendo prohibitivo, sin mencionar el coste de la puesta en órbita de esas 13.000 toneladas a 36.000 kilómetros de la superficie de la Tierra.

Prescindiendo de ese tipo de centrales solares espaciales, el señor Jean Charbonnel, que era ministro francés del Desarrollo Industrial cuando se celebró el congreso de la UNESCO, solicitó de sus servicios que le presentasen un informe sobre el mercado potencial, tanto en Francia como en el extranjero, de las instalaciones a base de energía solar. El informe acaba de publicarse y concluye que el mercado principal es el de la exportación. La primera aplicación se refiere a los televisores de uso escolar en países subdesarrollados. Solamente en África, al sur del Sahara, se estima en 700.000 el número de receptores de televisión indispensables para esa misión de enseñanza. Habrán de añadirse otros tantos en la India, país en que el 80 por 100 de la población se distribuye en 560.000 pueblos, y donde —con el satélite norteamericano ATS-6— van a iniciarse experiencias de televisión educativa. En esas mismas regiones del Tercer Mundo, el citado informe estima que la energía solar podría utilizarse para extraer agua de los pozos; cifra en 450.000 para África y 560.000 para la India y 300.000 para la América Central y del Sur el número de pueblos que podrían equiparse. La tercer aplicación considerada en el informe es un mínimo de

alumbrado eléctrico en esos millones de pueblos donde no cabe instalar una red de distribución partiendo de grandes centrales.

#### EL CALOR DE LOS MARES

¿Se puede extraer la energía de los mares? Hasta el presente se han hecho dos intentos, de los que sólo uno se ha llevado a término.

La utilización de la energía de los mares es con mucho la idea más antigua. Algunos «molinos de marea», en los que se llena un depósito con la marea alta para vaciarlo con la marea baja, ya existen desde hace siglos en las costas del sur de Bretaña. A escala industrial se ha aplicado la idea en la costa del norte de Bretaña, en el golfo de Saint-Malo, donde la amplitud de las mareas alcanza el máximo. Construida en el valle de la Rance, entre Dinard y Saint-Malo, la fábrica tiene una potencia de 240.000 kW instalados. Desde noviembre de 1966 enlaza con la red de Electricité de France. Según el señor Gibrat, responsable de su construcción, esa potencia es bastante inferior a la que podría haberse conseguido dada la situación de la fábrica, pero a costa de trabajos de infraestructura que se estimaron excesivos. Se han realizado otros dos estudios. Se estimó que no eran rentables, no más en las costas oeste de Gran Bretaña que en la bahía del Mont Saint-Michel, donde un dique de varias decenas de kilómetros, que se hubiera construido hasta las islas Chausey, tropezó con la objeción de su coste y las protestas de los defensores del medio ambiente.

La idea de utilizar como fuente caliente y fría de una máquina térmica las aguas marinas superficiales y profundas, se remonta a las sugerencias y experiencias de Georges Claude en 1926. Brillante inventor y realizador, se le debía desde 1902 la licuación del aire en forma que permitía una separación económica del oxígeno y el nitrógeno. En 1910, puso a punto el alumbrado por tubos luminiscentes de neón. Logró convencer al gobierno francés de que la implantación de una fábrica mareotérmica en Abidjan (Costa de Marfil) era rentable. Los trabajos se efectuaron activamente hasta 1948, fecha en que una comparación más exacta con los costes de las centrales térmicas alimentadas con petróleo aconsejó que se abandonara el proyecto.

En lucha con la crisis energética, la National Science Foundation descubre actualmente que una escasa parte de la que podría conseguirse del Gulf Stream, en el estrecho de Florida, entre Miami y las Bahamas, bastaría para suministrar energía eléctrica al conjunto de los Estados Unidos.



Por tanto, acaba de subvencionar, hasta un máximo de 1,8 millones de dólares, los estudios que la industria ha iniciado para esta recuperación.

A juzgar por las temperaturas superficiales invernales, Miami, con 25° C, resulta algo menos favorecido que Abidjan con 28° C. Pero la ventaja se invierte para las temperaturas en profundidad, donde, bajo el Gulf Stream de superficie, dirigido hacia el Noroeste, existe una corriente que arrastra en sentido inverso, hacia el golfo de Méjico, las aguas polares por fondos de 200 a 3.000 metros. El rendimiento de la fábrica mareotérmica sólo depende de la diferencia entre temperatura de superficie y de profundidad. Pese a sus 30° C en superficie, el Mar Rojo no puede explotarse: los fondos tienen 20° C. Con por lo menos 23° C de diferencia entre la superficie y el fondo, el estrecho de Florida es uno de los lugares más indicados.

La novedad, con relación a Abidjan, estriba en la elección del fluido que evacua el calor. Se duda entre el amoníaco, que hierve a —33° C bajo la presión atmosférica, y el propano, que hierve a —45° C. Parece ser que la elección se orienta hacia este último.

En la actualidad son dos los proyectos que se han presentado. El del doctor William Heronemus y sus colegas del MIT; el Massachusetts Institute of Technology está más adelantado. La central mareotérmica, en superficie, estaría anclada a unos cuarenta kilómetros de Miami. Vaporizado bajo presión por las aguas de superficie, el propano, al salir de las turbinas, se condensaría en agua extraída en profundidad. La energía eléctrica suministrada por los turbo-alternadores se enviaría por cables submarinos a Miami, desde donde suministraría no sólo Florida, sino hasta 1.000 ó 1.500 kilómetros de allí, de Nueva Orleans a Washington, todo el sureste de los Estados Unidos.

El doctor Clarence Zener, de la Universidad de Pittsburg, ha presentado un segundo proyecto a la Academia de Ciencias de Nueva York. El doctor Zener critica el lugar escogido, en una corriente bastante rápida, lo que impondría a los cables de amarradura de la fábrica flotante tensiones que estima en 10.000 toneladas. Propone, pues, que se construya la fábrica mareotérmica mucho más mar adentro, en el archipiélago de las Bahamas. Se aprovecharían las corrientes más débiles que allí se registran para instalar verticalmente, y no horizontalmente, el haz de tubos de evaporación, facilitándose ésta. Reprocha asimismo la situación próxima a Miami las objeciones que podría suscitar por parte de la Europa occidental e Islandia, calentadas actualmente entre 40° y 70° de latitud Norte por un Gulf

Stream que les aporta unos cincuenta millones de metros cúbicos por segundo de agua a 25° C. La construcción de la o las centrales mareotérmicas se escalonaría evidentemente en forma tal que daría tiempo a observar los efectos sobre el clima europeo.

El proyecto del doctor Zener difiere igualmente del proyecto del doctor Heronemus en cuanto a utilización y transporte de la energía producida. El doctor Zener sugiere aplicar a una descomposición electrolítica del agua bajo presión en sus elementos, hidrógeno y oxígeno, que se transportaría en barco, bajo la misma presión, no sólo a Florida, sino a varios puertos de las costas este y sur de los Estados Unidos. El oxígeno se emplearía en todos los casos en que se utiliza actualmente, extrayéndolo del aire. En cuanto al hidrógeno, el menos contaminante de los combustibles, no resultaría falta de aplicación para el tráfico urbano y los vehículos de hidrógeno que actualmente estudian los constructores italianos.

Además, los dos proyectos pueden adoptarse y aplicarse simultáneamente. El agotamiento de los recursos térmicos del Gulf Stream no es para mañana.

#### EL CARBÓN

Completamente decidido a asegurar su independencia energética en 1980, el gobierno federal acaba de descubrir que existía «un Medio Oriente del carbón», que no es otro que los Estados Unidos. Tal era la situación de Gran Bretaña en 1800: de una producción total mundial de 20 millones de toneladas, producía ella sola 18 millones. Hasta la primera guerra mundial seguía siendo el primer exportador, y su flota, también la primera, distribuía su carbón por lo mares. Lo que le valió a Gran Bretaña ser durante todo el siglo XIX, gracias a su siderurgia y metalurgia, la primera potencia industrial del mundo. Los tiempos han cambiado. Todos los países de la CECA (la Comunidad Europea del Carbón y el Acero), Alemania, Bélgica, Francia, Italia, Luxemburgo y los Países Bajos importaban en total, estos últimos años, cerca de sesenta millones de toneladas de carbón. Pero ese carbón proviene de los Estados Unidos. Lo mismo en Dunquerque que en Fos, la siderurgia de Francia, primero de esos Estados importadores, descansa en la hulla norteamericana.

Vinculado desde hace más de veinte años al extraordinario desarrollo del petróleo, el problema del carbón se había convertido en una cuestión de rendimiento. Las minas que no se prestaban, o se prestaban mal, a la

mecanización se abandonaban. El oficio no atraía a nadie. De 1950 a 1970, los 1.200.000 mineros de la CECA y Gran Bretaña se habían reducido a unos 500.000. La reducción, por supuesto, era todavía mayor en los Estados Unidos, donde había alcanzado los dos tercios durante el mismo período. Pero si bien la producción por minero había duplicado en Francia, pasando de 1.200 Kg. por día en 1950 a 2.400 en 1970, había triplicado en los Estados Unidos, pasando de 6.000 a 18.000 Kg. por día.

Habida cuenta de las investigaciones efectuadas hasta aquí, es muy improbable que se descubran en algún sitio yacimientos de petróleo equivalentes a los del Medio Oriente. Sobre la base del consumo actual, es por tanto casi cierto que el mundo habrá agotado su petróleo dentro de unos treinta años. Los Estados productores interesados no lo ignoran; por este motivo han multiplicado por cuatro el precio en un año<sup>1</sup>.

¿Qué hay del carbón? El Congreso Internacional de Geología de Toronto estimaba en 1913 que las reservas ascendían a 7,4 billones de toneladas. En 1973, reunido en Moscú, el mismo Congreso, con métodos de investigación más desarrollados, reducía esa cifra a 5,2 billones de toneladas. Sólo se incluían venas fácilmente explotables, es decir, de por lo menos 30 cm. a 1.200 metros de profundidad como máximo. Las estimaciones más recientes, por lo demás, han aumentado aquella cifra a 6,8 billones de toneladas. De todos modos, sobre la base del consumo actual y su evolución probable, el mundo dispone de carbón para unos cuantos siglos.

¿Cómo está repartido? Tanto en Toronto como en Moscú, el primer puesto se concedía a América del Norte y más concretamente a los Estados Unidos, con reservas del orden de la mitad de las reservas mundiales. Los yacimientos están repartidos por todo el territorio, pero el más interesante está situado en la cuenca de los Apalaches, constituido por venas de carbón de todas clases de uno a tres metros de altura, con una extensión de 1.300 kilómetros, de Pensylvania a Alabama. Proporciona las tres cuartas partes de aproximadamente los 500 millones de toneladas consumidas o exportadas actualmente por los Estados Unidos.

El segundo puesto lo ocupa la Unión Soviética, que abrió a finales del siglo pasado la más antiguamente explotada de sus cuencas, la del Donetz, al norte del mar de Azov. Varios centenares de venas, de estructura bas-

<sup>1</sup> Tal vez sea un poco apresurada la afirmación de que son los países productores los que han cuadruplicado el precio del petróleo. Los beneficios singularmente incrementados de las compañías petrolíferas llevan a la conclusión de que han contribuido sin reparos a cuadruplicar el precio que paga el país importador. (Nota de la traductora.)

tante caótica, se superponen, pero menos de la tercera parte puede explotarse. Se ha creado en torno una vasta región industrial. Es probable que la cuenca soviética más importante sea la del Kuznetsk, en la Siberia central, a mitad camino de Moscú y Vladivostok. Suministra principalmente hulla. Por su localización se presta difícilmente a la exportación. No obstante, la preocupación de su balanza comercial incita a la Unión Soviética, que no es muy rica en petróleo, a desarrollar la producción del conjunto de sus cuencas hulleras. Los partidarios del carbón apuntan nada menos que a triplicarla, incrementándola hasta unos 1.200 millones de toneladas en 1980, lo que le otorgaría entonces ampliamente el primer puesto mundial.

En el orden de los recursos, el tercer puesto corresponde seguramente a China. Sus cuencas más importantes están situadas al Norte, en las proximidades de Siberia y la Mongolia exterior. Ante el importante esfuerzo de industrialización que ha emprendido, con escasos recursos de petróleo y gas, China sería actualmente el primer productor mundial. La CECA estimaba que la extracción había pasado de 32 millones de toneladas en 1949 a 570 millones de toneladas en 1967 y que seguía desarrollándose. China, que en 1913 sólo alcanzaba el 1,3 por 100 de la producción mundial, o sea, cerca de veinte veces menos que Gran Bretaña, ocuparía hoy en día el primer puesto con más del 25 por 100 de esa producción, es decir, tres veces más que Gran Bretaña.

Frente a esos tres gigantes, la Europa occidental sólo ocupa un puesto sumamente modesto. El de Gran Bretaña, donde los yacimientos son muy extensos, pero cuya explotación es más difícil que en los Estados Unidos, sigue siendo el primero. Su principal ventaja es la proximidad del mar, aunque las venas más asequibles se agotaron en siglo y medio. Sigue Alemania, en el quinto puesto de la lista mundial, con, en la cuenca del Ruhr, cerca de un centenar de capas que tienen una altura del orden de un metro. Pero, como en Gran Bretaña, las capas más asequibles se agotan y la extracción ha de hacerse actualmente a niveles bastante bajos. Tan es así que la Alemania Federal es hoy en día ligeramente importadora.

La firme intención de las autoridades norteamericanas de asegurar la independencia energética de los Estados Unidos en 1980 acaba de dar nuevo impulso a una forma de explotación de los yacimientos ya practicada, pero posteriormente abandonada en razón de las críticas de los defensores del medio ambiente: la extracción a cielo abierto.

Más de las dos terceras partes de las reservas norteamericanas están situadas no en los Apalaches, sino en las Montañas Rocosas, de la frontera

de Méjico a la del Canadá. Las venas son gruesas, pero están demasiado cerca del suelo para que puedan explotarse mediante pozos de mina. Queda, con el utillaje mecánico de que se dispone ahora, a quitar la roca que las cubre o separarlas. El Gobierno federal ya ha arrendado a bajo precio —2,5 dólares la hectárea y 0,2 dólares por tonelada extraída— varios yacimientos en la zona Norte, Montana y Wyoming, en los que se han encontrado venas de 60 cm. de grueso. Nuevos clientes se presentan para el Arizona, a proximidad de la frontera de Méjico, entre ellos compañías petroleras, como la Gulf Oil y la Shell, que desean garantizar su supervivencia para el siglo próximo. Media docena de centrales eléctricas gigantes alimentadas con carbón se están construyendo allí, en particular en Wyoming.

Los especialistas del medio ambiente ya se han alborotado. ¿Se van a ensuciar los paisajes de las Montañas Rocosas —dicen— con decenas de millones de toneladas de cenizas cada año? Los constructores de centrales han respondido con equipos que retienen el 99,5 por 100 de las cenizas que arrastran los humos. Pero otros protestan, desde el punto de vista estético, por semejantes excavaciones; exigen su allanamiento y transformación en pastos, lo que restaría todo interés financiero a la operación. Bien parece que son quienes explotan las minas los que saldrán vencedores. Canadá, donde los yacimientos se prologan en el estado de Alberta, y que ya suministra petróleo y gas a los Estados Unidos, lo mismo le suministraría carbón o energía eléctrica sin tener que doblegarse a tales exigencias.

#### LA ENERGÍA TERMONUCLEAR

En mayo de 1951, horas antes de la explosión del primer detonador atómico, que permitiría saber si podía o no desencadenar una reacción termonuclear, Edward Teller, que lo estudiaba desde hacía siete años, declaraba: «No vamos a ver solamente si una bomba funciona o no. Si la experiencia tiene éxito puede significa que la Humanidad entra en posesión de una nueva fuente de energía, como Enrico Fermi ya le diera una en diciembre de 1942. Algún día el hombre aprovechará los inmensos recursos energéticos de las reacciones de fusión.» James R. Shepley y Clay Blair jr., que recogen en su obra *The Hydrogen Bomb* esas palabras del «padre de la bomba H», concluyen volviendo sobre esa idea: «El uranio —escriben— no es un combustible barato. Tendría mucha mayor importancia, del mismo modo en que la bomba H supera la bomba A, la producción

de energía partiendo de las reacciones de fusión, cuyo rendimiento es muy superior a las reacciones de fisión. Si lo conseguimos, una edad de oro se abrirá ante nosotros, en que la energía se hará tan barata que ya no precisará ser medida; en que podremos destilar y extraer bastante agua como para cubrir los desiertos de vegetación.»

El concepto de una caldera capaz de recuperar la energía de una explosión se originó el 19 de septiembre de 1957, después de la prueba «Rainier», la primera de las explosiones del programa «Plowshare», en el terreno de experiencias de Nevada. El explosivo de la prueba «Rainier» era una carga atómica de 1,7 kilotoneladas de TNT (trinitrotolueno), o sea, una potencia algo inferior al décimo de la bomba de Hiroshima. La carga se había colocado a la extremidad de un túnel que terminaba a 270 metros bajo la cumbre de un monte. Del conjunto de personalidades oficiales instaladas a cuatro kilómetros de allí, y que habían improvisado sismógrafos con latas de conserva vacías en equilibrio sobre mesas de ping-pong, la mitad no se percató siquiera de la explosión. En la cumbre del monte se observaron ligeras arrugas en la maleza y un poco de polvo.

El estudio de los efectos térmicos exigía el acceso a la cámara de explosión. Se comprobó que ésta había vitrificado las paredes de una cámara de compresión esférica de 34 metros de diámetro. La bóveda se había derrumbado, arrastrando consigo las rocas que sostenía. La masa de rocas vitrificadas, aisladas calóricamente, conservaba todavía, meses después, suficiente temperatura como para que los dirigentes de la Atomic Energy Commission afirmaran que podría aprovecharse mediante inyección de agua y vaporización. No se detectó rastro alguno de radiactividad residual; había quedado confinada en la roca vitrificada.

Ya el 2 de diciembre de 1957, el doctor Williard F. Libby, premio Nobel, miembro y portavoz científico de la Atomic Energy Commission, no ocultaba su entusiasmo: «Desde hace años—decía—no he visto nada tan prometedor como esos desarrollos.» De todas las aplicaciones consideradas, la más interesante se refería a la producción de energía. El doctor Edward Teller lo aprobaba. Con motivo de la conferencia celebrada en Ginebra en septiembre de 1958, por iniciativa de las Naciones Unidas, para discutir aplicaciones prácticas de la energía atómica, el doctor Libby y el doctor Teller se esforzaron en desarmar la hostilidad abierta de la delegación soviética, que se negaba a ver una utilidad práctica, otra que la militar, en semejantes explosiones. Desde entonces, tanto en los Estados Unidos como

en la Unión Soviética, centenares de explosiones subterráneas se han llevado a cabo de este modo.

La etapa de las explosiones atómicas resultó muy rápidamente superada desde la prueba «Rainier». En lo que atañe a los Estados Unidos, las dos mayores, en la isla Amchitka —una de las Aleutianas—, fueron de 1,2 megatoneladas en el fondo de un pozo de 1.200 metros, con una explosión sin efectos exteriores, y seguidamente de cinco megatoneladas, con apertura de un embudo, por una carga colocada a 1.800 metros de profundidad. Las más recientes estimaciones del precio de las cargas por la Atomic Energy Commission ascienden a 375.000 dólares para las más pequeñas, resultando el de la mayor, fijado en unos 500.000 dólares, sin relación con la potencia en el caso de cargas de una megatonelada y más.

Hoy por hoy, cuando los sondeos en busca de petróleo alcanzan más de los 10.000 metros de profundidad, será posible hacer explotar cargas termoneucleares de varias megatoneladas o decenas de megatoneladas, con efectos reactivos desdeñables, que desprendan en calor el equivalente de más de un millón de toneladas de carbón. Las cámaras así provocadas respetan las leyes clásicas de la similitud: proporción entre el volumen de la cámara y la potencia de la explosión. Los diámetros alcanzarán de 600 a 1.200 metros para las cargas de una a diez megatoneladas. Para tales dimensiones, la pérdida por convección en la mitad de las rocas sigue siendo insignificante por espacio del mes o el año. La central eléctrica, en superficie, se alimentará con vapor mediante una doble perforación que funcione a modo de termosifón, permitiendo una que el agua descienda a la cámara, dando la otra salida al vapor a toda presión y temperatura deseable para el rendimiento de la conversión. Limitándose a cargas de cinco megatoneladas que exploten en un pozo de 5.000 metros, que por lo demás se llenaría parcialmente de agua para la segunda explosión y las siguientes, se obtendría en forma de vapor un equivalente del petróleo a menos de un dólar la tonelada. No hay que temer contaminación alguna: el agua y el vapor circularán en circuito cerrado.

#### LA ENERGÍA GEOTÉRMICA

La decisión norteamericana de recurso a la energía para atender sus necesidades de energía eléctrica se remonta al 11 de enero de 1973, al término de una conferencia organizada en colaboración entre los Estados Uni-

dos y las Naciones Unidas. Llegó a la conclusión de que en las regiones con gradiente geotérmico elevado, como las Montañas Rocosas, las centrales eléctricas así alimentadas producirían una energía claramente más barata que las centrales alimentadas con petróleo, al precio que éste tenía en aquel tiempo.

El señor Hickel, antiguo secretario del Interior en Washington, que presidía la delegación de la National Science Foundation en esa conferencia, recordó que había recomendado al Gobierno federal, en diciembre de 1972, dedicar un crédito de 685 millones de dólares a la investigación y desarrollo de la energía geotérmica. Afirmaba que las centrales eléctricas así alimentadas podrían alcanzar en los Estados Unidos una potencia de 132 millones de kilovatios en 1985 y 595 millones de kilovatios el año 2000. Esta última cifra superaría la potencia actual de todas las centrales eléctricas de los Estados Unidos, cualquiera que sea su fuente de energía. El señor Joseph Barnea, director del Departamento de Recursos y Transportes de las Naciones Unidas, apoyó las sugerencias del señor Hickel. Estimaba, al precio del petróleo y gas natural importado en enero de 1973 por los Estados Unidos, que la explotación de la energía geotérmica representaría un ahorro de más de 26.000 millones de dólares en la importación de aquellos combustibles en el año 2000.

La guerra israelo-árabe, con el enorme aumento de los precios del petróleo y la negativa de su venta a los Estados Unidos por los productores árabes, ya no deja duda alguna en cuanto al acierto de aquellas conclusiones. Por ello, a finales de 1973, la Cámara de Representantes y el Senado de Washington se mostraron mucho más generosos que el señor Hickel. La primera votó un crédito de 10.000 millones de dólares; el segundo lo amplió a 20.000 millones de dólares para investigaciones y realizaciones a llevar a cabo en diez o veinte años y relativas a nuevas energías, tales como la energía solar y la energía geotérmica. El 3 de diciembre, la Atomic Energy Commission recomendó al presidente Nixon que considerase créditos de investigación de 11.000 millones de dólares, distribuidos durante los cinco próximos años, a fin de desarrollar, además de las aplicaciones del carbón, la energía solar y la energía geotérmica. El presidente Nixon, por lo demás, no dejó en duda sus intenciones de asegurar la independencia de su país en materia de energía. Por ello propuso en el presupuesto para el año fiscal de 1975 (que se inició el 1 de julio de 1974) 1.875 millones de dólares de



créditos para la investigación y desarrollo en este ámbito, en aumento en un 81 por 100 con relación al año fiscal de 1974.

En su artículo sobre la energía geotérmica, que publicó en mayo de 1971 los *Annales des Mines*, el señor J. Lavigne, jefe del Servicio Geotérmico del oficial Bureau francés de Investigaciones Geológicas y Minerías, escribía: «A diferencia del yacimiento de hidrocarburos, el yacimiento geotérmico es inagotable, cuando menos a escala humana.» No es difícil demostrarlo, singularmente en Francia para la región volcánica del Macizo Central, donde las erupciones más antiguas se remontan a unos quince millones de años y las más recientes a siete u ocho mil años. El gradiente geotérmico, que indica el recalentamiento de las rocas con la profundidad, es en término medio, en Francia como en otros lugares, de 32° C por kilómetro. En más de 6.000 km<sup>2</sup>, en las regiones de volcanismo antiguo de los departamentos del Puy de Dôme, del Cantal y la Haute-Loire, ese gradiente alcanza aproximadamente 100° C por kilómetro. De momento que los sondeos de pozos para extraer el petróleo, complementados por sondeos experimentales, han superado los 10.000 metros, se puede considerar perfectamente en esas regiones hacer pozos que alcancen los 6.000 metros para una explotación de la energía geotérmica de las rocas comprendidas entre 3.000 y 6.000 metros, con temperatura de 300° C a 600° C, que convienen para un excelente rendimiento del vapor destinado a la alimentación de una central eléctrica. El volumen de rocas explotables en esas condiciones es de 18.000 km<sup>3</sup>. Con una roca de densidad 2,5, de calor específico 0,25 y temperatura media 450° C, el calor que contiene alcanza 280.000 kilocalorías por metro cúbico, o sea, el equivalente de las 28 milésimas de una tonelada de petróleo con 10.000 kilocalorías por kilo. Los 18.000 km<sup>3</sup> de rocas consideradas representan, pues, el equivalente calorífico de 500.000 millones de toneladas de petróleo, o sea, con que hacer frente a las necesidades francesas sobre la base actual durante cuatro mil años. Seguidamente no existirá dificultad alguna para emprenderla con rocas más profundas, entre 6.000 y 10.000 metros, e incluso recalentar o vaporizar previamente el agua condensada a la salida de las centrales eléctricas en pozos abiertos en las inmediatas proximidades de la zona volcánica, hacia 6.000 y 8.000 metros de profundidad y 190° C a 250° C, antes de enviarla a la zona volcánica.

Con la actual facilidad de transporte de la energía eléctrica de alta tensión, las centrales así instaladas en el Macizo Central podrían suministrar no sólo toda Francia, sino también los países vecinos, Bélgica, Alemania

Federal, Suiza, que no disponen de semejante energía geotérmica de elevado gradiente. Tales transportes ya están en servicio entre los territorios asiáticos y europeos de la Unión Soviética para una energía eléctrica conseguida partiendo del petróleo o el gas. La utilización de esa energía podrá ampliarse a empleos tales como la calefacción de las viviendas, que ya resultaba costosa antes del último aumento del precio del gas y productos petrolíferos.

Queda por extraer de esas rocas, a temperaturas de 300° C a 600° C, el calor que contienen para alimentar con vapor las centrales eléctricas instaladas en superficie. Durante la primera mitad de este siglo se hicieron varias sugerencias para semejante extracción. La dificultad reside en la muy débil conductividad térmica de las rocas, que, cualquiera que sea su naturaleza, constituyen un excelente aislante. Los primeros metros cúbicos de agua que se envían al fondo de un pozo de 6.000 metros se vaporizarán fácilmente, pero enfriarán la roca circundante, al extremo de que los intercambios se reducirán rápidamente. En 1924, el proyecto Vincent sugería un conjunto de dos pozos; por uno había de bajar el agua fría y por el otro subir el agua caliente a consecuencia de un efecto de termosifón. Pero la unión entre los pozos y la captación del calor de las rocas requería una amplia red de galerías, cuyo coste era prohibitivo. Las últimas sugerencias, las de Georges Claude y André Claude, de 1949 a 1953, se referían a la explotación de pozos perforados en un terreno acuífero, donde penetrarían en una red de fracturas naturales profundas; no se han encontrado tales terrenos y es dudoso que puedan encontrarse.

El único medio de asegurar los intercambios térmicos entre las rocas volcánicas de gran profundidad y el agua que se quiera vaporizar es fragmentar esas rocas mediante el más potente y económico de los medios de allanamiento: el explosivo termonuclear. Actualmente, la Atomic Energy Commission ha verificado, con explosivos de varias megatoneladas, que la ley clásica de las explosiones subterráneas no nucleares se amplía a las explosiones nucleares. Por tanto, pueden efectuarse explosiones de diez megatoneladas y más a 5.000 ó 6.000 metros de profundidad sin perjuicio para los inmuebles de superficie.

Queda a comparar el coste de la energía geotérmica al que podría extraerse de una roca enteramente removida por explosiones con el coste, ya reducido, de la energía termonuclear liberada por esas mismas explosiones. La fragmentación total de las rocas podría conseguirse con un conjunto de

cargas de cinco megatoneladas equidistantes a dos kilómetros de intervalo. Liberaría, según cálculos efectuados anteriormente para las rocas situadas entre 3.000 y 6.000 metros de profundidad, el equivalente calorífico de 350 millones de toneladas de petróleo, por un importe de 500.000 dólares, o sea, 660 toneladas de petróleo por un dólar. De estimarse conveniente reducir de mitad, e incluso más, la distancia horizontal de dos kilómetros entre explosiones de cinco megatoneladas para fracturar mejor el campo de rocas, la energía geotérmica recuperable en regiones de gradiente con temperaturas altas es, con unas 100 toneladas de petróleo por un dólar, unas cien veces más económica que la extraída directamente de la explosión termonuclear.

Semejante explotación de la energía geotérmica en forma de energía eléctrica a precios sin competencia posible se aplicaría a todas las regiones de volcanismo antiguo o reciente. Entre las primeras se puede contar con las islas volcánicas de las Canarias, bien en las islas habitadas, bien en los islotes desiertos. Entre las segundas se eliminará evidentemente el Vesubio y el Etna, donde potentes explosiones nucleares hacen correr el riesgo de provocar la reactivación del volcán. Pero igualmente puede explotarse así la energía geotérmica de la pequeña isla al sur de Islandia, que una erupción obligó a evacuar el año pasado, lo mismo que todos los volcanes del «cinturón de fuego» del Pacífico, de las Aleutinas a Chile y de Malasia a los islotes volcánicos del Japón. Se tendría así en particular, tanto en las Canarias como en Japón, con qué suministrar todas las industrias grandes consumidoras de energía, cuales las siderurgias eléctricas o las fábricas productoras de aluminio.

Cabe preguntarse si la energía geotérmica puede explotarse útilmente en el resto del mundo, es decir, en regiones donde el gradiente geotérmico se limita a 32° C por kilómetro. Sin ningún género de dudas, contentándose con un rendimiento algo inferior. Se ha implantado la costumbre de alimentar las turbinas de vapor de una central eléctrica con vapor recalentado a 300° C o 400° C. Pero al principio de nuestro siglo bastaba habitualmente, para esas mismas turbinas de centrales eléctricas, con vapor a unos 200° C, que no tenían otro defecto que consumir un poco más de vapor. En determinados sitios, el sondeo de 6.000 metros se efectúa en sus tres cuartas partes. Tal es el caso del Mont-Blanc, atravesado de Francia a Italia por un túnel de 11.600 metros, a la mitad del cual unos sondeos a 2.500 metros alimentan con vapor, en Chamonix y Courmayeur, dos centrales que atienden,

CAMILLE ROUGERON

a 50 ó 100 kilómetros de allí, todas las necesidades de energía eléctrica de la Saboya, Ginebra y el Piamonte.

La combinación de explosiones termonucleares de unas cuantas megatoneladas y de la energía geotérmica garantiza, en todos los países, recursos ilimitados de energía a precios muy inferiores a los actuales.

CAMILLE ROUGERON

Traducción de CARMEN M. DE LA ESCALERA.