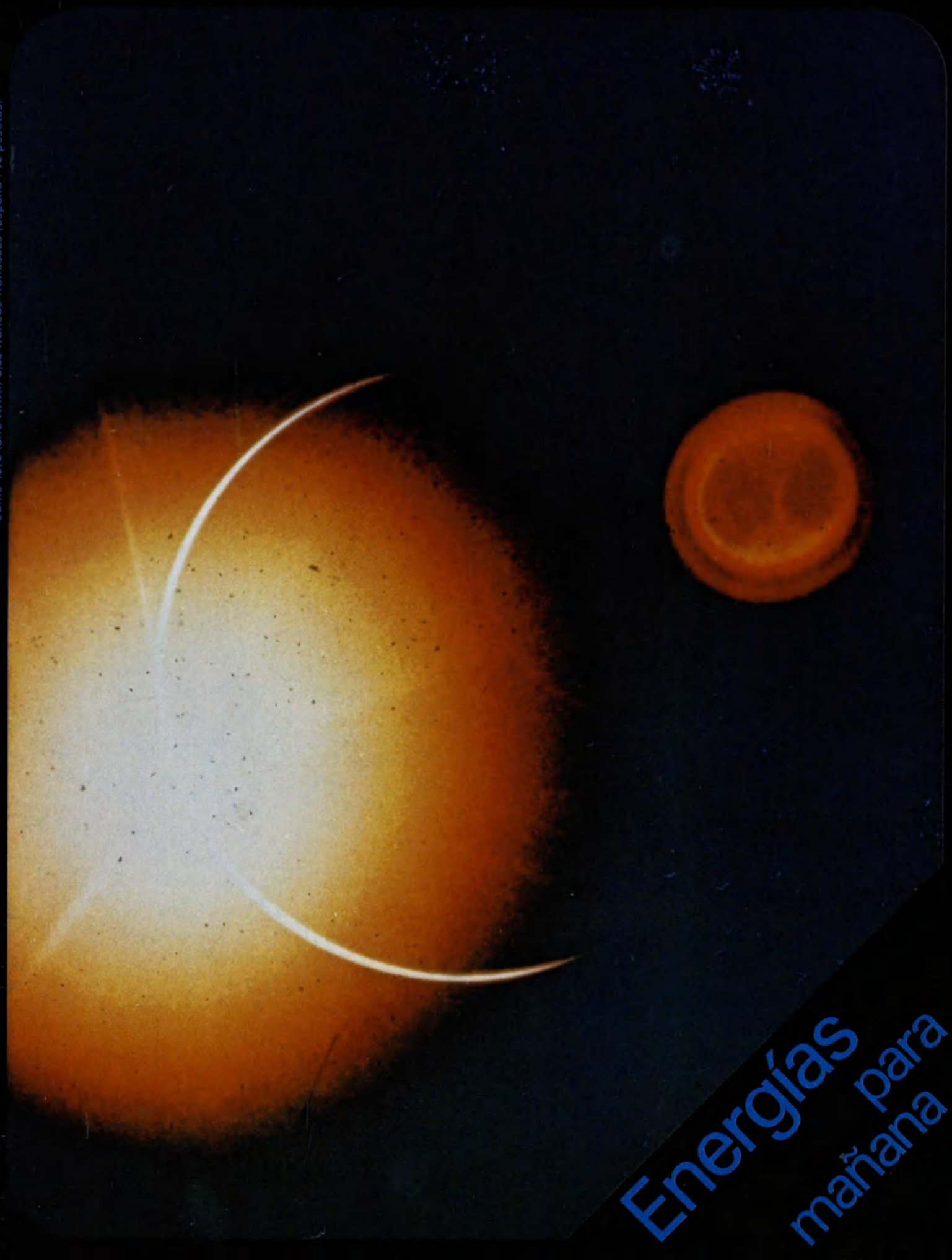
El Correo de la unesco

Una ventana abierta al mundo



Energías para mañana

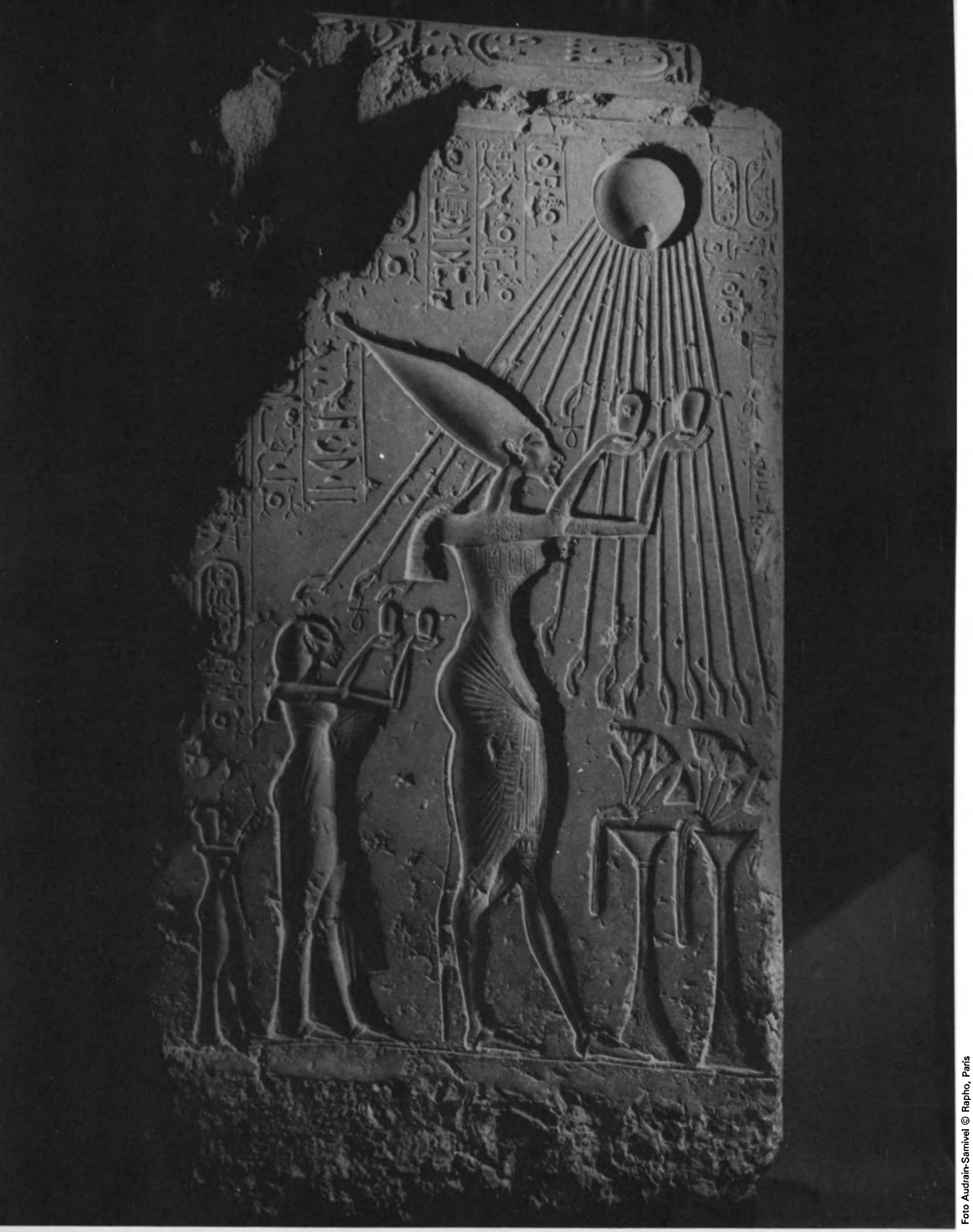


Foto Audrain-Samivel © Rapho, París

TESOROS DEL ARTE MUNDIAL

132

Egipto

El Faraón del Sol

Este bajorrelieve de 1,05 m de altura, esculpido hacia el año 1370 antes de nuestra era y conservado en el Museo de El Cairo, representa a Akhenatón, faraón de la 18ª dinastía, y a su esposa Nefertiti adorando a Atón, el globo solar que les envía sus rayos, símbolo de la vida que da. Este soberano, que se llamaba primero Amenofis IV, tomó a los cuatro años de su reinado el nombre de Akhenatón, que quiere decir "el que agrada al sol", y rompió con los ritos tebanos, instaurando como divinidad única a Atón.

El Correo de la unesco

JUNIO 1978 AÑO XXXI

PUBLICADO EN 18 IDIOMAS

Español	Japonés	Portugués
Inglés	Italiano	Neerlandés
Francés	Hindi	Turco
Ruso	Tamul	Urdu
Alemán	Hebreo	Catalán
Arabe	Persa	Malayo

Publicación mensual de la UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura)

Venta y distribución :
Unesco, place de Fontenoy, 75700 París

Tarifas de suscripción :
un año : 35 francos (España : 750 ptas)
dos años : 58 francos.
Tapas para 11 números : 24 francos.

Los artículos y fotografías que no llevan el signo © (copyright) pueden reproducirse siempre que se haga constar "De **EL CORREO DE LA UNESCO**", el número del que han sido tomados y el nombre del autor. Deberán enviarse a **EL CORREO** tres ejemplares de la revista o periódico que los publique. Las fotografías reproducibles serán facilitadas por la Redacción a quien las solicite por escrito. Los artículos firmados no expresan forzosamente la opinión de la Unesco o de la Redacción de la revista. En cambio, los títulos y los pies de fotos son de la incumbencia exclusiva de esta última

Redacción y Administración :
Unesco, place de Fontenoy, 75700 París, France

Jefe de Redacción :
René Caloz

Subjefe de Redacción :
Olga Rödel

Redactores Principales :
Español : Francisco Fernández-Santos
Francés :
Inglés : Howard Brabyn (París)
Ruso : Victor Goliachkov (París)
Alemán : Werner Merkli (Berna)
Arabe : Abdel Moneim El Sawi (El Cairo)
Japonés : Kazuo Akao (Tokio)
Italiano : María Remiddi (Roma)
Hindi : H.L. Sharma (Delhi)
Tamul : M. Mohammed Mustafa (Madrás)
Hebreo : Alexander Broido (Tel-Aviv)
Persa : Fereydun Ardalan (Teherán)
Portugués : Benedicto Silva (Río de Janeiro)
Neerlandés : Paul Morren (Amberes)
Turco : Mefra Arkin (Estambul)
Urdu : Hakim Mohammed Said (Karachi)
Catalán : Cristián Rahola (Barcelona)
Malayo : Azizah Hamzah (Kuala Lumpur)

Redactores :
Español : Jorge Enrique Adoum
Francés :
Inglés : Roy Malkin

Documentación : Christiane Boucher
Ilustración : Ariane Bailey
Composición gráfica : Robert Jacquemin

La correspondencia debe dirigirse al Director de la revista.

ISSN 0304-3118
N° 6 - 1978 MC 78 - 6 - 344

páginas

5 **ENERGIAS PARA MAÑANA**
por Boris M. Berkovski

8 **UN REACTOR QUE PRODUCE MAS COMBUSTIBLE DEL QUE CONSUME**
por Wolf Häfele

11 **LOS RIESGOS DEL CICLO NUCLEAR**
De la mina a los residuos atómicos, cómo protegerse contra la radiación del uranio
por Essam El-Hinnawi

13 **LAS PROMESAS DE LA FUSION**
por Rendel S. Pease

16 **EL SOL AL ALCANCE DE LA MANO**
por A. Ramachandran y J. Gururaja

22 **LAS CENTRALES DE NEPTUNO**
Cuando el calor acumulado en los océanos ponga en movimiento inmensos generadores
por Richard Arlen Meyer

24 **LAS FRAGUAS DE VULCANO**
Perforar la Tierra para extraer el calor de sus entrañas
por Ralph Haenel

27 **EL CARBON : UN VIEJO COMBUSTIBLE CON MUCHO FUTURO**
por Vladimir A. Kuzminov

29 **LOS MICROBIOS TRABAJAN PARA NOSOTROS**
por Jan Wilhelm M. La Rivière y Edgar J. DaSilva

32 **EL HIDROGENO, COMBUSTIBLE LIMPIO E INAGOTABLE**
por T. Nejat Veziroglu

34 **LATITUDES Y LONGITUDES**

2 **TESOROS DEL ARTE MUNDIAL**
EGIPTO : El Faraón del Sol

Nuestra portada

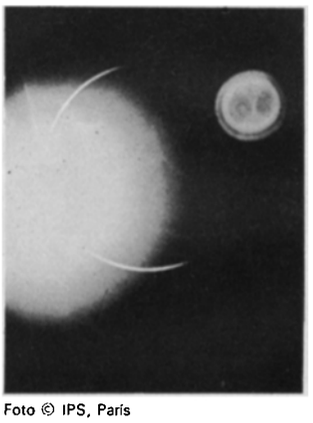


Foto © IPS, París

La primera fotografía de la Tierra eclipsando al Sol fue tomada por los astronautas del Apolo 12 cuando volvían de la Luna en noviembre de 1969. En la portada del presente número reproducimos el extraordinario juego de luces que los astronautas pudieron admirar en tal oportunidad. El Sol, que es en sí mismo un inmenso reactor termonuclear, ha suministrado siempre casi toda la energía utilizada por el hombre ; en efecto, la energía solar se encuentra almacenada en las plantas, en los océanos, en los combustibles fósiles, etc. Pero éstos, que actualmente satisfacen la mayor parte de nuestras necesidades energéticas, no son renovables. La humanidad tendrá pues que encontrar otras fuentes de energía que los sustituyan antes de que se agoten.

Dada la facilidad para utilizarla y para transportarla hasta el consumidor, la electricidad, producida por centrales hidráulicas, térmicas o nucleares o por cualquier otro nuevo tipo de energía (solar, geotérmica, eólica, maremotriz), es objeto de creciente demanda. En la actualidad el diez por ciento de la energía que se consume en el mundo es energía eléctrica, calculándose que en el año 2020 ese porcentaje habrá aumentado hasta el veinte por ciento. Abajo, insólita imagen "arborescente" de una descarga inducida en un laboratorio experimental.

Desde hace un cuarto de siglo la Unesco viene ocupándose con particular interés del problema mundial de la energía, dentro del marco de sus actividades científicas. El 16 de mayo de 1978, al someter a la consideración del Consejo Ejecutivo de la Unesco el programa de la Organización en materia de ciencia y tecnología, el Director General, señor Amadou-Mahtar M'Bow, presentó un gran proyecto relativo al fomento de la investigación científica con miras a una utilización racional de las fuentes de energía tradicionales y de las nuevas. El señor M'Bow indicó que el proyecto abarca los problemas de producción, conversión, almacenamiento y utilización eficaz de la energía, contempla la formación de personal competente y el apoyo a la investigación y tiende sobre todo a promover un mejor aprovechamiento de las fuentes tradicionales y el desarrollo de otras nuevas. En este orden de cosas se plantean cuestiones de importancia capital para el porvenir de la humanidad. El presente número de *El Correo de la Unesco* trata de responder a algunas de ellas ofreciendo a sus lectores una apreciación general de las reservas de energía actualmente disponibles y de las perspectivas que brindan las nuevas fuentes de energía.

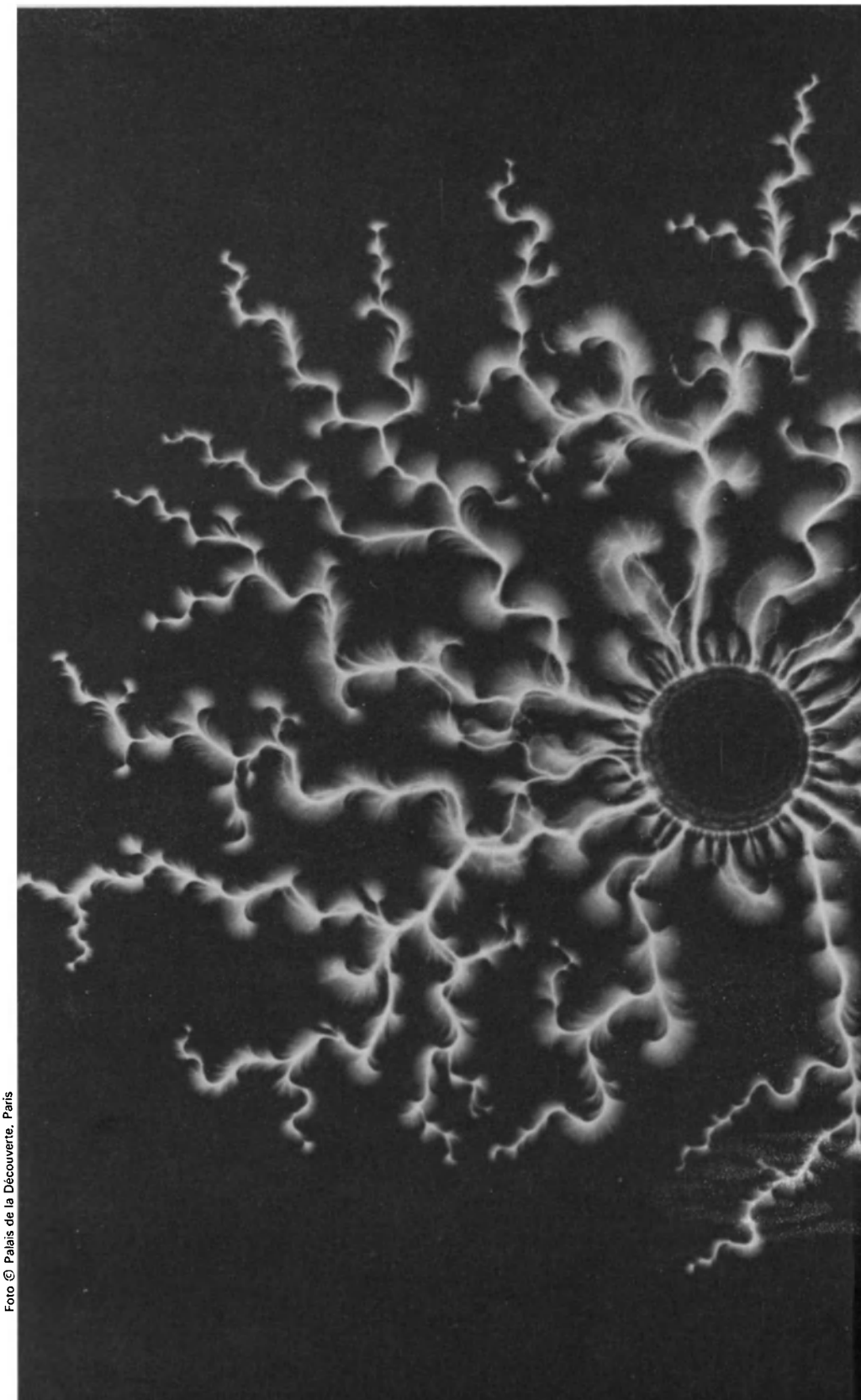
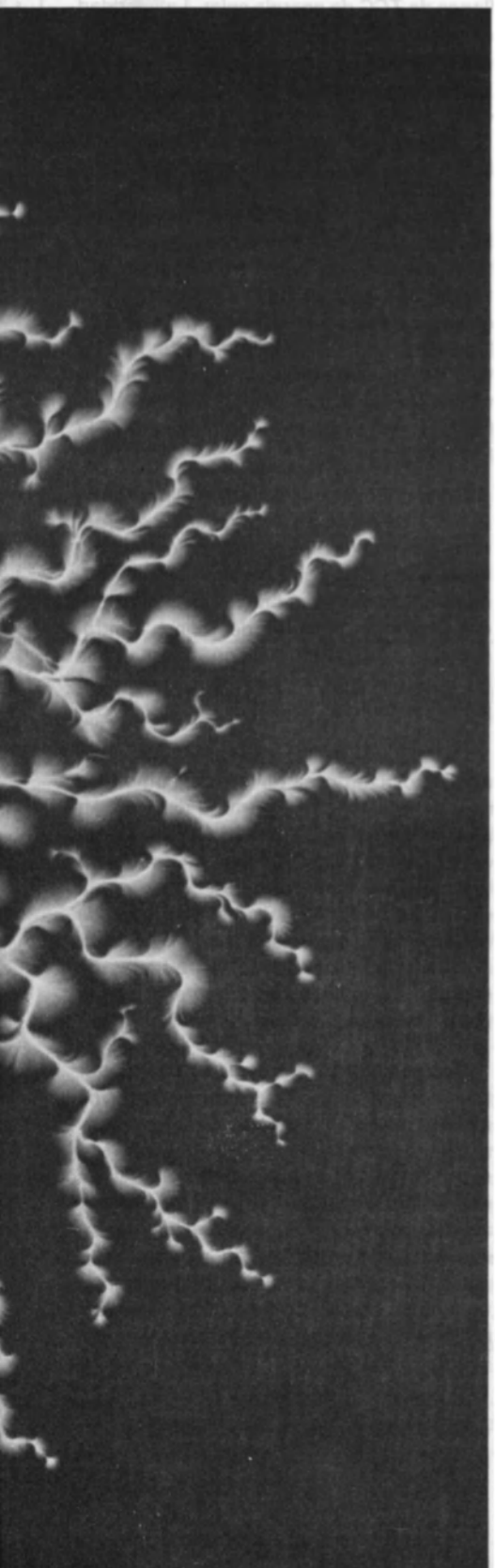


Foto © Palais de la Découverte, Paris

Energías para mañana



La humanidad es capaz de crear fuentes renovables que no contaminen el medio natural

por Boris M. Berkovski

EN nuestros días, la energía producida en el mundo proviene esencialmente de la combustión de los hidrocarburos. ¿ A cuánto ascienden las reservas de estos combustibles, entendiendo por tales la cantidad de combustible mineral que puede ser extraído en función del progreso técnico previsible ?

Las evaluaciones son distintas y a menudo contradictorias. Ello se debe, lógicamente, a las enormes dificultades que ofrece calcular el volumen del combustible creado por la naturaleza, por una parte, y el del que es posible extraer, con procedimientos actuales o futuros, por otra. Téngase presente que en los diversos países se utilizan métodos distintos de evaluación.

Por ejemplo, los métodos actuales no permiten extraer de la capa petrolífera todo el crudo acumulado ; una porción considerable se queda en el subsuelo. De ahí que la evaluación de las reservas dependa de la eficacia de los métodos de extracción. En todos los países se trabaja intensamente para incrementar el coeficiente de extracción del petróleo, y lo mismo ocurre con el carbón y con el gas natural. Citaré algunas cifras de las reservas potenciales de estos tipos de combustible.

Según los datos estadísticos de la Conferencia Internacional de la Energía, casi el 88 % de las reservas potenciales de combustibles minerales están formadas por combustibles sólidos, fundamentalmente el carbón. Las reservas de combustibles sólidos equivalen aproximadamente a 11,2 billones de TCC (*), es decir, lo suficiente para llenar de carbón un cubo gigantesco dos veces más alto que la más elevada montaña del mundo. Podemos así hacernos una idea clara de la formidable magnitud de esas existencias y, al mismo tiempo, de su limitación.

Las reservas de combustibles líquidos —esencialmente petróleo crudo— se evalúan en unos 740.000 millones de TCC, y las de gas se acercan a los 630.000 millones.

Ahora bien, las reservas "posibles", es decir aquellas cuya extracción resulta económicamente rentable, son mucho menores. Las reservas posibles de combustibles minerales se evalúan en unos 4 billones de TCC. La gran diferencia entre las existencias *potenciales* y las reservas *posibles* se debe a que muchos yacimientos se hallan en regiones geográficas de difícil acceso y a profundidades y en cantidades que no permiten una explotación rentable.

Boris M. Berkovski, *de la República Socialista Soviética de Bielorrusia, es autor de gran número de libros y artículos sobre temas científicos, en particular la termofísica. Actualmente dirige los programas de la Unesco relativos a los problemas científicos y técnicos de la energía.*

(*) EL TCC es la unidad de medida de producción de energía y representa una cantidad de energía equivalente a la producida por una tonelada de carbón.

Conviene señalar que las estimaciones citadas más bien pecan por defecto que por exceso. Aún no se han evaluado debidamente, por ejemplo, las existencias de aceites bituminosos ni las de gas natural.

Comparemos ahora las reservas posibles y las cifras de consumo previstas para el futuro. La cantidad global de energía que se precisará hasta el año 2000 equivaldrá casi al 10 % de las reservas de combustible mineral ; para el año 2050 el consumo total de energía absorberá ya el 78 % de esas reservas. Y las previsiones más moderadas a largo plazo muestran que cien años después las reservas se habrán agotado completamente.

La comparación del consumo de energía con las reservas potenciales ofrece un cuadro más halagüeño. El consumo total hasta el año 2000 representará sólo el 3,6 % de esas reservas, hasta el año 2050, el 26 %, y cien años más tarde la humanidad sólo habrá utilizado la mitad de aquellas.

Estos datos comparativos permiten comprobar que las existencias de combustibles químicos bastan holgadamente para cubrir nuestras necesidades durante los próximos cien años, como mínimo. Aunque no existe el peligro inmediato de que tales combustibles se agoten, sus existencias son limitadas y pueden consumirse dentro de un periodo previsible.

Es posible que los biznietos de nuestros hijos vivan en un mundo desprovisto de petróleo y gas naturales. Debemos, pues, preocuparnos desde ahora por elaborar métodos para producir petróleo y gas artificiales. Y, sobre todo, descubrir procedimientos que nos aseguren fuentes de energía ilimitadas y ecológicamente limpias.

La ciencia conoce ya hoy fuentes de energía incomparablemente más poderosas que los viejos combustibles químicos. En primer lugar, la energía atómica, producida por reacciones en cadena controladas de fisión de elementos pesados como el plutonio ; después, la energía termonuclear, producto de reacciones de fusión de átomos ligeros a temperaturas de millones de grados, como las que se originan en el interior del Sol. Por último, existe el proceso de *aniquilación* de la materia y la antimateria en el que se libera una inaudita cantidad de energía, la de los cuásares, objetos cuasiestelares descubiertos relativamente no hace mucho. Los astrofísicos piensan que es precisamente el proceso de aniquilación lo que les proporciona esa gigantesca energía.

Como se sabe, la combustión de un gramo de madera puede proporcionar la energía suficiente para que una lámpara eléctrica de cien vatios luzca durante un minuto ; un gramo de carbón puede hacer lo mismo con dos lámparas. La combustión de un gramo de uranio en un reactor nuclear produce energía capaz de iluminar durante una hora 200.000 lámparas o 20.000 apartamentos. Los reactores nucleares a base de neutrones ligeros, así como la reacción termonuclear controlada, brindan posibilidades totalmente inéditas. Un gramo de deuterio (isótopo del hidrógeno) produce tal cantidad de energía que permitirá iluminar durante una hora toda una gran ciudad moderna. Por su parte, el proceso de aniquilación materia-antimateria ofrece perspectivas fantásticas : un gramo de materia y otro de antimateria producen 6.000 TCC, cifra impresionante si se tiene presente que con esa cantidad de energía prodría iluminarse durante una hora todas las viviendas de un país como Francia.

Buen número de expertos sostienen que la utilización de fuentes de energía no renovables está limitada por factores ecológicos. Por extraño que parezca, esa limitación no proviene de la contaminación del medio ambiente con partículas sólidas y residuos tóxicos. Este tipo de peligro es combatible. No lo es, en cambio, el recalentamiento de la superficie terrestre y de la atmósfera como resultado de la liberación de calor en el proceso del consumo y la producción de energía en los reactores nucleares y termonucleares y en el de la combustión de los hidrocarburos.

DE conformidad con una de las leyes fundamentales de la Naturaleza, todos los tipos de energía que empleamos, tanto mecánica como eléctrica, acaban por convertirse en calor. Ese calor es una fuente adicional de recalentamiento de la surperficie terrestre y de la atmósfera y puede, en principio, ocasionar perturbaciones locales e incluso generales del equilibrio térmico natural, modificando el clima. Todo depende de la cantidad de energía producida y consumida, de su influencia en el balance térmico de la Tierra.

A juicio de algunos especialistas, la cantidad máxima de energía que cabe producir en la Tierra sin originar catastróficas modificaciones del clima se cifra en unos 70 billones de TCC al año. Esto es, por supuesto, mucho más de lo que actualmente producimos. Pero no es en modo alguno una cifra inconcebible. En consecuencia, cabe afirmar que, si bien no parece existir peligro inmediato de modificación global del clima, sí son ya posibles —y requieren consideración muy atenta— perturbaciones locales, sobre todo en las inmediaciones de los grandes centros de producción y consumo de energía. También habrá que tomar en consideración la eventualidad de alteraciones atmosféricas en gran escala como resultado de perturbaciones locales del balance térmico.

Hasta ahora sólo nos hemos referido a las fuentes de energía de origen terrestre. Pero sabido es que la Tierra recible una enorme cantidad de energía del Sol. Se ha demostrado, por ejemplo, que la vegetación del planeta consume anualmente como mínimo el equivalente de 12.300 millones de TCC de energía solar. La cantidad de energía por metro cuadrado de superficie iluminada de la Tierra viene a cifrarse teóricamente en un kilovatio. Ello significa que sobre una superficie de unos 10.000 km^2 el Sol envía tanta energía como la que hoy utiliza toda la humanidad.

Por su parte, las olas de los océanos contienen casi tres veces más energía de la que todo el mundo consume en forma de electricidad. En los gradientes de temperatura y de salinidad se encierra un caudal casi análogo de energía extraíble del océano. A su vez, las corrientes y las mareas contienen también enorme provisión de energía. Y no hablemos de la energía geotérmica ni de la hidráulica.

Quiere decirse que no nos hallamos ante un caso de penuria de los recursos energéticos del planeta, sino ante dificultades y fenómenos cuyo carácter es fundamentalmente político y económico. Esas dificultades tienen su origen en decisiones arbitrarias al nivel de la producción, en una mala distribución y en la irracionalidad del consumo de energía.

La mayoría de los especialistas opinan que la solución pasa por un consumo más racional y cuidadoso, por una distribución planificada y por una tenaz labor investigadora con vistas a perfeccionar métodos tradicionales de producción de energía y a sentar las bases de la industria energética del futuro. Otro problema capital radica en crear fuentes nuevas y más perfectas de energía que sean mínimamente contaminantes para el entorno natural.

Son muchos los que sugieren concentrar los esfuerzos en la utilización de fuentes de energía nuevas, ecológicamente puras y renovables, en primer término la solar. Los especialistas están de acuerdo en que es menester esforzarse vigorosamente por avanzar desde ahora en esa dirección, aunque advierten que pasarán muchos años antes de que las nuevas fuentes, y concretamente la energía solar, puedan satisfacer en medida apreciable las necesidades del género humano.

Aunque con diferencias de matiz, esos especialistas hablan en todo caso de varios decenios. Para ello se basan en los antece-

De la madera al deuterio : pequeños soles para alumbrar

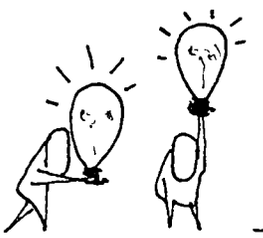


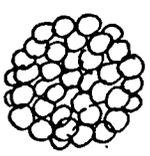
1 gramo de madera = 0,0018 kilovatios/hora = Energía para iluminar 1 lámpara de 100 vatios durante 1 minuto





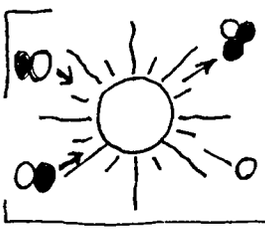
1 gramo de carbón = 0,0037 kilovatios/hora = Energía para iluminar 2 lámparas de 100 vatios durante 1 minuto



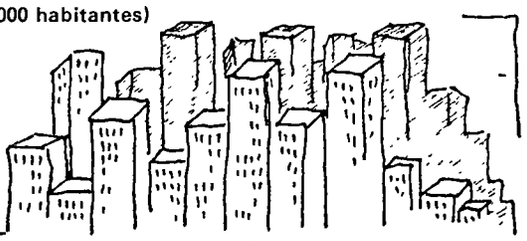


1 gramo de uranio 235 = 20.000 kilovatios/hora = Energía para iluminar una ciudad pequeña (60.000 habitantes) durante 1 hora





1 gramo de deuterio (*) = 150.000 kilovatios/hora = Energía para iluminar una gran ciudad (500.000 habitantes) durante 1 hora



Dibujo © Mas - *El Correo de la Unesco*

(*) El deuterio o hidrógeno pesado (de masa atómica 2) es un componente importante del combustible necesario para producir la fusión nuclear. Las reservas de deuterio, que puede ser fácilmente disociado del agua, son prácticamente inagotables.

dentes, por ejemplo, en el tiempo que se invirtió en pasar de la madera al carbón, del carbón al petróleo, del petróleo al gas y de los combustibles químicos a la energía del átomo. El ritmo a que se han producido todos esos cambios no es inferior a 60 años, y ese ritmo puede aplicarse a cualquier método de producción de energía, aun con las salvedades que determina la aceleración del progreso científico y técnico.

Por todo ello, lo primordial tanto en los países industrializados como en los que están en vías de desarrollo, es continuar perfeccionando los métodos tradicionales. En los próximos decenios será imposible prescindir de la madera, el carbón, el petróleo y el gas, y habrá que impulsar la labor de investigación y experimentación de métodos nuevos de producción de energía.

Por desgracia, hoy son numerosos los fútiles intentos que se hacen para introducir procedimientos aún muy imperfectos, por no decir inaplicables. La seducción de la novedad, la aparente sencillez y la inagotabilidad de la fuente energética —como acontece en el caso de la energía solar— suscitan la creencia ilusoria de que es factible utilizarla inmediatamente y en gran escala, lo cual distrae de un trabajo serio con vistas a la introducción verdaderamente rápida de procedimientos realmente prometedores. Es sin duda oportuno recordar que en América del Norte el petróleo, la fuente de energía primaria más eficaz y barata de la época, tardó más de medio siglo en sustituir al carbón en el 50 % del consumo y que la energía atómica, 35 años después de los primeros ensayos experimentales, representa sólo el 1 % de la energía total producida en el mundo.

La energía es la palanca esencial del progreso socioeconómico. Los problemas de su desarrollo son complejos : no solamente científicos, técnicos y económicos sino también sociales y políticos. Hoy no cabe duda de que el ingenio del hombre y su buena voluntad, unidos a la inagotabilidad del potencial energético de la Tierra, proporcionarán a las generaciones venideras la necesaria cantidad de energía sin alterar el equilibrio ecológico del planeta. El futuro pertenece a fuentes virtualmente inagotables y renovables, tales como la energía termonuclear y la solar. De aquí a entonces pasaremos par un periodo transitorio de estudios científicos y técnicos y de trabajos de ingeniería bien planeados y subvencionados ; todo ello compaginando razonablemente los esfuerzos nacionales y la cooperación internacional.

La Unesco y otras organizaciones internacionales contribuyen de manera sustancial a la solución de los problemas de la energía en el mundo. En el programa a largo plazo de la Unesco relativo a los aspectos científicos y tecnológicos de esos problemas se incluye la concesión de ayuda multilateral a los países en vías de desarrollo, el intercambio de conocimientos y experiencias, el robustecimiento de la cooperación internacional y el examen conjunto de las perspectivas de desarrollo.

B. M. Berkovski

Un reactor que produce más combustible del que consume

por Wolf Häfele

TEORICAMENTE y, en gran medida, también en la práctica, los reactores de autorregeneración pueden producir energía en cantidades casi ilimitadas. De ahí que no quepa considerarlos como un simple desarrollo del sistema energético actual sino que debamos ver en ellos un cambio cualitativo fundamental.

La diferencia básica entre los autorregeneradores y las centrales de energía nuclear estriba en que aquellos producen más combustible del que consumen. Los actuales reactores nucleares, cuyo tipo predominante es el reactor de agua ligera, extraen la mayor parte de su energía de un isótopo del uranio, el uranio 235, muy escaso en la naturaleza. En efecto, este elemento constituye sólo el 0,7 por ciento del uranio natural ; el resto está formado por el uranio 238 que no puede utilizarse directamente para el funcionamiento de las centrales de agua ligera.

Una central de este tipo, de 1 gigavatio (mil millones de vatios), consume aproximadamente 5.000 toneladas de uranio a lo largo de su existencia. Consiguientemente, mil centrales de esa potencia distribuidas en el mundo consumirían 5 millones de toneladas, cifra que, según los cálculos actuales, se aproxima a la de las reservas totales de uranio de la Tierra.

Los reactores de autorregeneración consumen para su funcionamiento una mezcla de plutonio y de uranio 238, muchísimo más abundante que el 235. En el proceso de fisión se obtiene, por cada átomo y medio de uranio 238 consumido, medio átomo de plutonio, aproximadamente. Ello significa que en este tipo de reactores se puede utilizar como combustible todo el uranio 238 contenido en el uranio natural, es decir que, empleando la misma cantidad de combustible, un autorregenerador produce de 60 a 70 veces más energía que cualquier otro reactor actualmente en uso, con la consiguiente economía de uranio, hoy día tan costoso de extraer.

En la situación actual de la técnica los reactores de autorregeneración constituyen el único medio de que disponemos para resolver el problema de la limitación de los recursos energéticos a que la humanidad va a verse abocada en los próximos decenios.

De todos modos, a corto plazo, la utilización de estos reactores sólo será viable como parte de los sistemas energéticos que hoy se hallan estrechamente vinculados con la economía mundial, o sea que deberán ser competitivos respecto de las otras fuentes de energía disponibles. Cabe esperar que esta meta se alcance hacia fines del próximo decenio o en el subsiguiente.

Toda tecnología nueva debe abrirse paso a través de una ardua competencia económica, proceso que en última instancia permite economizar inversiones en trabajo, capital e ingenio. Los reactores de agua ligera han pasado ya tal prueba, demostrando ser comercialmente rentables : la electricidad que producen es, en relación con la de los combustibles fósiles, de tres a seis dólares más barata por megavatio (un millón de vatios) y por hora. En Nueva Inglaterra (Estados Unidos) esas centrales generaron la mayor parte de la electricidad consumida durante los fríos inviernos de los últimos años. Actualmente funcionan unas 200 en el mundo entero y se espera que para el año 2000 la capacidad de producción instalada será de 1.500 gigavatios.

Todos los reactores que utilizan la fisión nuclear producen plutonio o un isótopo especial del uranio, el U 233, que no se encuentran en la naturaleza y que es preciso manejar con sumo cuidado ya que ambos emiten rayos alfa, nocivos para el organismo.

Un reactor de agua ligera de 1.000 megavatios produce aproximadamente 170 kilogramos de plutonio por año. La manera más segura de manejar ese plutonio consiste en volver a introducirlo en un reactor tras separarlo químicamente del resto del combustible irradiado.

Se han estudiado y ensayado un gran número de sistemas para combinar los actuales reactores de agua ligera con los autorregeneradores. De esos estudios se desprende que en los próximos decenios la función principal de estos reactores de autorregeneración será servir de depósitos de plutonio, como etapa final del ciclo nuclear en los reactores de agua ligera. Sólo más tarde aparecerá claramente la importancia primordial del efecto multiplicador del almacenamiento del plutonio... y será entonces cuando se le necesite.

Los actuales reactores de autorregeneración utilizan óxidos mixtos de plutonio y de uranio. De este modo se introduce un efecto Doppler negativo que actúa como moderador del reactor. En última instancia, ello da lugar a una situación en que los dispositivos de control del reactor de autorregeneración son prácticamente los mismos que los del reactor de agua ligera, y los sistemas de seguridad del primero pueden diseñarse de modo que satisfagan las mismas exigencias predeterminadas a que ha de someterse el segundo o cualquier otro tipo de reactor.

El sistema energético actual no bastará para satisfacer las necesidades de mañana. Debemos pues hacernos a la idea de que es inevitable adoptar nuevos sistemas. Según algunos estudios, el momento crucial se producirá poco después del año 2000. Si para entonces no hemos tomado las medidas necesarias, será demasiado tarde para elaborar y desarrollar las tecnologías capaces de satisfacer la ingente demanda de energía del futuro. El tiempo apremia y, sin embargo, se necesitarán varios decenios de trabajo : no parece existir solución inmediata.

Para que una tecnología nueva pueda emplearse en gran escala es preciso que sea viable desde el punto de vista científico, técnico y comercial.

Los reactores de autorregeneración demostraron ser científicamente factibles hace ya treinta años. La segunda condición supone diseñar, construir y poner en funcionamiento centrales con capacidad suficiente para suministrar energía eléctrica a toda una red nacional. Esto se ha logrado en Europa en el decenio de 1970. El prototipo de reactor francés "Fénix", de 250 megavatios, comenzó a funcionar con

---

Wolf Häfele, *físico de la República Federal de Alemania, miembro del Centro de Investigaciones Nucleares de Karlsruhe, ha participado en la construcción del primer reactor alemán FR 2. Desde 1973 pertenece al Instituto Internacional de Sistemas Aplicados de Análisis de Laxenbourg (Austria), del que es director adjunto. Es, además, profesor de la Universidad de Karlsruhe y de la Universidad Técnica de Viena.*

La energía nuclear es una de las soluciones posibles al problema de la disminución constante de los combustibles fósiles. Los reactores nucleares producen calor mediante la fisión de los átomos de uranio. Ese calor produce vapor de agua que pone en funcionamiento las turbinas generadoras de electricidad. La primera generación de reactores nucleares sólo podía utilizar como combustible una parte mínima del uranio natural. Hoy día, una nueva generación de reactores, los de autorregeneración, utilizan para su funcionamiento una mezcla de uranio natural y de plutonio, pero producen más plutonio del que consumen, ofreciendo así una fuente de energía prácticamente ilimitada. Abajo, impresionante imagen del corazón del prototipo de autorregenerador británico, de 250 megavatios, que comenzó a producir electricidad en 1975.



Foto © U K Atomic Energy Authority



Foto Gilles Ehrmann © Photothèque EDF, Paris

La utilización de la energía nuclear ha suscitado una controversia mundial, particularmente en lo que toca a los problemas que para el medio ambiente y para el ser humano entrañan el funcionamiento de los reactores, la manipulación del combustible nuclear y la evacuación de los residuos radiactivos. Sus defensores ponen de relieve el excelente sistema de seguridad de los reactores nucleares, que consideran indispensables en una época en que empiezan a escasear los combustibles fósiles. Sus impugnadores sostienen, en cambio, que los beneficios no compensan los riesgos y que aun no se han elaborado las técnicas adecuadas que permitan a largo plazo transportar y almacenar sin peligro los desechos. En la foto, una columna de plomo utilizada para el transporte de los residuos nucleares de un reactor francés.

éxito en 1974. Poco después, en el Reino Unido, el prototipo PFR, de la misma potencia, se ponía gradualmente en marcha y hoy funciona a pleno rendimiento. En la Unión Soviética, el BN 350, de 1.000 megavatios, se emplea desde comienzos del decenio actual en la producción de electricidad y la desalación del agua de mar. En la República Federal de Alemania el prototipo SNR 300, de 300 megavatios, estará terminado en 1981 o 1982. En el Japón comenzará el año próximo la construcción del prototipo Monju. Francia ha tomado la delantera en esta materia al emprender la construcción de su segundo reactor de gran potencia, el "Superfénix", que será una central eléctrica de 1.200 megavatios.

Cabe, pues, afirmar que el reactor de autorregeneración ha franqueado los niveles de la viabilidad científica y técnica. Otras tecnologías nuevas —las relativas a la energía solar, a la fusión nuclear y a las nuevas utilizaciones en gran escala del carbón— le seguirán, y la economía mundial en la que habrán de integrarse será probablemente diferente de la actual. Ahora bien, como el autorregenerador existe ya, es inevitable que se intente evaluarlo exclusivamente en función de los sistemas energéticos actuales. Sin embargo, debemos esforzarnos en mirar más lejos, impidiendo que la visión del futuro inmediato limite las opciones tecnológicas a largo plazo. Esto significa continuar el desarrollo de los reactores de autorregeneración y aumentar su número, paralelamente a las otras técnicas anergéticas a largo plazo a que hemos hecho referencia.

Wolf Häfele

Los riesgos del ciclo nuclear

De la mina a los residuos atómicos, cómo protegerse contra la radiación del uranio

por Essam El-Hinnawi

DESDE hace unos decenios se viene utilizando comercialmente la energía nuclear para obtener una pequeña parte de la electricidad necesaria. En 1976, la capacidad instalada de producción de energía nuclear en todo el mundo ascendía a 79,9 gigavatios , en 187 centrales de 19 países. Se calcula que la energía nuclear equivaldrá aproximadamente a un 11-13 % de la capacidad total de producción de electricidad en el mundo en 1985 y a un 17-20 %. en el año 2000.

En el plano nacional, y en ciertos casos en el regional, los aspectos ecológicos de la producción y el consumo de energía han pasado a revestir una importancia capital, suscitando graves inquietudes en la opinión pública.

Las repercusiones del "ciclo nuclear" sobre el medio ambiente pueden producirse en todas las fases de su desarrollo : desde la extracción y la elaboración del uranio, pasando por la fabricación de los elementos combustibles para el reactor y el transporte y el tratamiento de los combustibles irradiados, hasta la liquidación de los desechos obtenidos en todas las etapas del ciclo. Estas repercusiones varían mucho en sus características y en su magnitud.

En lo que toca a la minería, las repercusiones pueden adoptar diversas formas : efectos sobre las tierras y las aguas (debidos a las aguas residuales y a los estériles producidos por el avenamiento de la mina y por el agua utilizada en las perforaciones) y peligros laborales para la salud. El gas radón, producido por la degeneración radiactiva del radio 226 obtenido en los yacimientos, constituye en opinión general el principal factor que contribuye al aumento del número de casos de cáncer entre los mineros del uranio.

Debe señalarse, sin embargo, que los efectos ambientales y los peligros laborales relacionados con la extracción del carbón necesario para el funcionamiento de una central de 1.000 megavatios suelen ser más importantes que los que acarrea la extracción del uranio que se requiere en una central nuclear de esa misma capacidad.

Los efectos sobre el medio ambiente de las acumulaciones de estériles derivados de la extracción son los siguientes : erosión provocada por el viento, contaminación de los ríos por los montones situados cerca de sus orillas o por las crecidas que llegan a esas pilas produciendo la lixiviación del radio y una infiltración a través de ellas hasta la capa freática.

El principal peligro potencial del procedimiento de obtención del combustible consiste en la toxicidad del flúor y del fluoruro de hidrógeno utilizados en la producción de hexafluoruro de uranio. De todos modos, en la industria química del flúor se emplean ya desde hace tiempo métodos seguros de manipulación de estos productos químicos. Al aumentar el nivel de enriquecimiento del uranio, aumenta también el peligro de una aglomeración accidental de cantidades de uranio 235 suficientes para provocar una reacción en cadena. Aunque son muy pocas las probabilidades de que se produzcan tales accidentes, deben extremarse las precauciones para que no lleguen a ocurrir nunca.

La producción de elementos combustibles de bióxido de uranio es ya un procedimiento bien establecido, que parece estar exento de peligros apreciables. En cambio, la producción de combustible de óxidos mixtos es mucho más complicada. El peligro radica en la toxicidad del plutonio y en el hecho de que la "masa crítica" de bióxido de plutonio en la que pueden iniciarse las reacciones de fisión en cadena es tan sólo de unos kilos. No obstante, los peligros derivados normalmente de la produción de combustible de óxidos mixtos no son difíciles de prevenir.

Durante el funcionamiento normal de un reactor nuclear se produce una fisión con aparición de productos radiactivos. La mayoría de estos productos quedan retenidos en los elementos combustibles. Los radionucleidos que pasan al elemento refrigerante o que se forman en él son eliminados mediante sistemas de tratamiento de los residuos líquidos y gaseosos. Las descargas con escasa concentración radiactiva que se producen durante el funcionamiento normal se hallan rigurosamente reguladas para que no rebasen los límites autorizados.

En comparación con los peligros derivados de las emisiones de gases producidas por las centrales alimentadas con combustibles fósiles, los que pueden derivarse de las centrales nucleares durante su funcionamiento normal son insignificantes. En cambio, la contaminación térmica es más acusada en éstas que en aquéllas. Las centrales nucleares descargan esencialmente todo su calor en el agua de refrigeración, mientras que en las otras el 15 %, más o menos, del calor se escapa por las chimeneas, junto con los productos de la combustión. En otras palabras, una central nuclear descarga un 50 % aproximadamente más de calor en el agua que una central alimentada con combustibles fósiles que produzca la misma cantidad de electricidad.

La inquietud que en el público suscita el funcionamiento de los reactores se centra en la posibilidad de que un accidente provoque la contaminación radiactiva de la zona circundante. Es cierto que pueden producirse varios tipos de accidentes en un reactor en marcha, pero todo reactor está provisto de numerosos dispositivos de seguridad y, además, en caso de avería se interrumpe automáticamente su funcionamiento. Por otra parte, la mayoría de los reactores se hallan instalados en un edificio especial capaz de retener prácticamente todos los escapes de radiactividad que puedan producirse a consecuencia de un accidente grave. De todos modos, se han formulado dudas sobre la eficacia de esas medidas de seguridad (en particular, con respecto a los sistemas de refrigeración del corazón del reactor en caso de accidente).

Se han realizado diversos estudios para determinar las probabilidades de un accidente grave en una central nuclear, manejando información sobre el porcentaje probable de averías de los diversos elementos de un reactor. En el más reciente de esos estudios, el llamado "informe Rasmussen", se estima que la probabilidad de que se funda accidentalmente el corazón de un reactor de agua ligera es de 1 por 20.000 por año y reactor y que el 99 por ciento de esos accidentes no producirían ninguna muerte inmediata. Se calcula tam-

---

Essam El-Hinnawi, *egipcio, dirige los trabajos del Centro Nacional de Investigaciones sobre Geoquímica y Mineralogía de El Cairo. Autor de más de un centenar de obras y estudios sobre esas disciplinas y sobre energía, el profesor El-Hinnawi recibió en 1967 el Premio Nacional de Ciencia y Tecnología de su país. Actualmente preside el grupo de coordinación sobre la energía del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.*

bién que uno de cada 170 accidentes de fusión del corazón produciría más de 10 muertes inmediatas.

La polémica sobre la exactitud de las afirmaciones del informe Rasmussen es general y los argumentos muy variados. Se ha puesto en tela de juicio el fundamento de los métodos empleados, la estimación de los peligros de accidentes y el factor del error humano. Otras críticas se han centrado esencialmente en el hecho de que en dicho estudio no se han tenido debidamente en cuenta los peligros derivados de calamidades naturales (por ejemplo, huracanes y seísmos), de sabotajes deliberados y de guerras.

Dado que los reactores de autorregeneración producen más materiales de fisión que los que consumen (véase el artículo de la página 8), su funcionamiento ha suscitado numerosas críticas. El intenso bombardeo con neutrones que se produce en este tipo de reactor modifica el tamaño de los materiales estructurales que le rodean, lo cual puede traer consigo una dilatación de los metales utilizados en la construcción del corazón del reactor. Estos cambios de las dimensiones del corazón pueden repercutir en el líquido refrigerante y precipitar el recalentamiento del núcleo y la fusión del plutonio

La manipulación del combustible plantea otro problema. La ventaja del reactor de autorregeneración consiste en que produce plutonio, pero la recuperación de las materias radiactivas requiere una manipulación de los combustibles mucho más frecuente que en el caso de los reactores actuales. Después de retirar el plutonio del lugar donde se ha formado, en el corazón del reactor, hay que transportarlo hasta las instalaciones de tratamiento para poder convertirlo en nuevos elementos combustibles. Si se produce un accidente —caso que preocupa gravemente a quienes critican este método— puede haber un escape en los cilindros de plutonio durante el transporte.

Por otro lado, el desmantelamiento total de una central nuclear, una vez que haya terminado su vida útil (que suele calcularse en unos veinte o treinta años), resultará difícil y peligroso como consecuencia de la radiactividad que se habrá acumulado en la estructura del reactor. El bombardeo con neutrones de los materiales utilizados para construir un reactor produce toda una serie de nucleidos radiactivos. Algunos de ellos emiten una radiación gamma de gran poder de penetración y tienen un promedio de vida de varios años. Ahora bien, la experiencia adquirida con el desmantelamiento de reactores pequeños permite albergar cierto optimismo en cuanto a la posibilidad de neutralizar totalmente los reactores una vez terminada su vida útil.

Los elementos usados que se extraen del reactor al reabastecerlo de combustible son las materias más intensamente radiactivas de todo el ciclo. El principal peligro consiste en la enorme cantidad de radiaciones gamma producidas por la degeneración de los productos de fisión radiactivos. Los elementos se transportan a depósitos de agua muy profundos, los llamados estanques de refrigeración, en los que permanecen durante cierto tiempo. Hay que conservarlos en esos depósitos de modo tal que la gran cantidad de materias de fisión —uranio 235 y plutonio— no lleguen a formar una configuración crítica. Cuando los productos de la fisión de vida breve tienen ya un nivel reducido de radiactividad —es decir, pasados unos meses— resulta posible tratar de nuevo esos elementos combustibles.

En las instalaciones de tratamiento se disuelven químicamente los combustibles usados y se recuperan los elementos residuales. Hasta la fecha, esas instalaciones han sido la fuente principal de contaminación radiactiva del medio ambiente producida por la industria nuclear.

Durante el proceso del tratamiento se producen residuos líquidos poco radiactivos pero que van a parar al medio ambiente. En general, casi toda la pequeña cantidad de tritio presente en el proceso sale con esos residuos. Habrá pues que elaborar métodos más perfectos de almacenamiento o eliminación de tales desechos.

Las instalaciones de tratamiento producen asimismo pequeños residuos sólidos de radiactividad débil o media. El tratamiento del combustible consumido en un año por un reactor de agua ligera de 1.000 megavatios produce unos 20-60 metros cúbicos de tales residuos. Hasta ahora, casi todos estos desechos eran enterrados bajo tierra o envasados y sumergidos en el mar. El Organismo para la Energía Atómica de la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos) vigila actualmente la inmersión de 7.000 toneladas al año, a una profundidad de 4.500 metros, en el océano Atlántico. Pueden también emplearse otros métodos, que consisten en enterrar los residuos en minas abandonadas o en formaciones geológicas idóneas.

Se calcula que en 1990 los residuos fuertemente radiactivos derivados del tratamiento de combustibles usados ascenderán a 20.000 metros cúbicos. Estos residuos contienen el 99 por ciento de los productos de fisión que encierran los combustibles, así como cantidades más pequeñas de actínidos. En la actualidad, se almacenan principalmente en forma líquida, y algunos de sus elementos seguirán siendo peligrosamente radiactivos durante varios cientos de miles de años.

Hoy por hoy no se conoce ningún sistema seguro para aislar permanentemente del medio ambiente los residuos fuertemente radiactivos haciéndolos inocuos durante mucho tiempo. Existen ya procedimientos para convertir esos residuos en sólidos relativamente inertes. Se estima, en todo caso, que la solución más aceptable sería depositar permanentemente estos residuos sólidos en formaciones geológicas estables, pero aún no se ha demostrado que tal cosa sea factible. Y no es seguro que esos métodos y lugares de conservación impidan totalmente descargas radiactivas debidas a perturbaciones provocadas por la naturaleza o por el hombre.

Los convenios regionales e internacionales entre numerosos países dotados de industria nuclear someten a severas restricciones la inmersión en el mar de residuos fuertemente radiactivos. En la Antártida tal inmersión está prohibida en virtud de un tratado.

La fusión nuclear consiste en fundir dos núcleos atómicos a una temperatura altísima. Cuando se trata de núcleos de elementos de poco peso, como el hidrógeno, se obtienen grandes cantidades de energía. En este proceso se origina el caudal ilimitado de la energía solar. Los científicos están tratando actualmente de emplear los rayos láser para obtener las grandes temperaturas que se requieren para producir en la Tierra la fusión nuclear. En la foto, la complicada masa de cables de una instalación de fusión con láser de Los Alamos, Nuevo México, Estados Unidos.

Durante el ciclo nuclear completo, incluido el transporte de las materias nucleares, se requiere una estricta vigilancia, tanto de carácter nacional como internacional, para que aquéllas no caigan en manos de personas no autorizadas, que podrían utilizarlas en actividades perniciosas para la población o para el medio ambiente.

El establecimiento y la aplicación de un sistema de protección material en el plano nacional incumben esencialmente al Estado, y están estrechamente relacionados con su sistema nacional de contabilidad, salvaguardia y control de las materias nucleares. Este sistema debe abarcar todas las materias nucleares que se estén utilizando, almacenando o transportando a todo lo largo del ciclo nuclear, a la vez en el plano nacional y en el internacional. En este último aspecto, el Organismo Internacional de Energía Atómica cuenta ya con un sistema de protección nuclear.

El sistema establecido en virtud del Tratado de No Proliferación es el más ampliamente aplicado y resulta, en casi todos los sentidos, el más eficaz. Sin embargo, presenta una serie de limitaciones y fallos que podemos resumir así :

Son muchos los Estados que no han firmado el Tratado ; las medidas de protección no impiden que la transferencia de tecnología nuclear para la producción de energía nuclear posibilite la fabricación de armas nucleares ; hay muchas instalaciones nucleares a las cuales no se aplican las medidas de protección ; los acuerdos presentan numerosas lagunas en lo que atañe a su aplicación a las explosiones nucleares pacíficas, a las materias destinadas a fines militares no relacionados con las explosiones nucleares y a la transferencia de materias a un tercer Estado ; no existen en la práctica medidas de protección aplicables a las materias primas ; el mantenimiento de un control efectivo de las existencias nucleares plantea una serie de problemas prácticos ; los Estados pueden retirarse fácilmente del Tratado y de casi todos los demás acuerdos análogos ; existen fallos en los procedimientos de información y alerta ; y, por último, no existen sanciones eficaces aplicables a la sustracción de las materias prohibidas.

Essam El-Hinnawi



Foto © Mark Antman, París

Las promesas de la fusión

El hombre puede producir y domesticar en la Tierra la energía de las estrellas

por Rendel S. Pease

LA energía nuclear es el sucedáneo más interesante de los combustibles fósiles. Puede ser de dos tipos —de fusión y de fisión— pero por el momento sólo disponemos de esta última.

La energía de fusión ofrece todos los aspectos positivos de la fisión, y además presenta ciertas ventajas potenciales en lo que atañe a la defensa del medio ambiente. Ahora bien, el problema principal estriba en que la energía de fusión está todavía en fase de investigación y no podrá disponerse de ella hasta principios del próximo siglo.

Las investigaciones sobre las centrales y la construcción de las mismas requieren una tecnología muy especializada y cuantiosas inversiones de capital. El Consejo Internacional de Investigaciones sobre la Fusión estima que el costo de las actividades de investigación y desarrollo ascenderá a 15.000 millones de dólares. Ahora bien, una vez que se consiga domesticarla, si tal cosa es posible, la fusión ha de resultar muy barata en lo que se refiere al combustible necesario.

Se puede decir, en síntesis, que la fusión nuclear consiste en fundir dos núcleos atómicos para producir otro ligeramente más pesado. Cuando la fusión se efectúa con núcleos de elementos ligeros (como el hidrógeno o el litio), se obtienen grandes cantidades de energía. Esto es precisamente lo que ocurre en las estrellas y lo que origina el caudal ilimitado de energía de sol.

Rendel Sebastian Pease, *británico, dirige el Laboratorio de Culham, que es un centro de investigaciones sobre la fusión nuclear controlada. Actualmente preside el Consejo Internacional de Investigaciones sobre la Fusión del Organismo Internacional de Energía Atómica de las Naciones Unidas.*

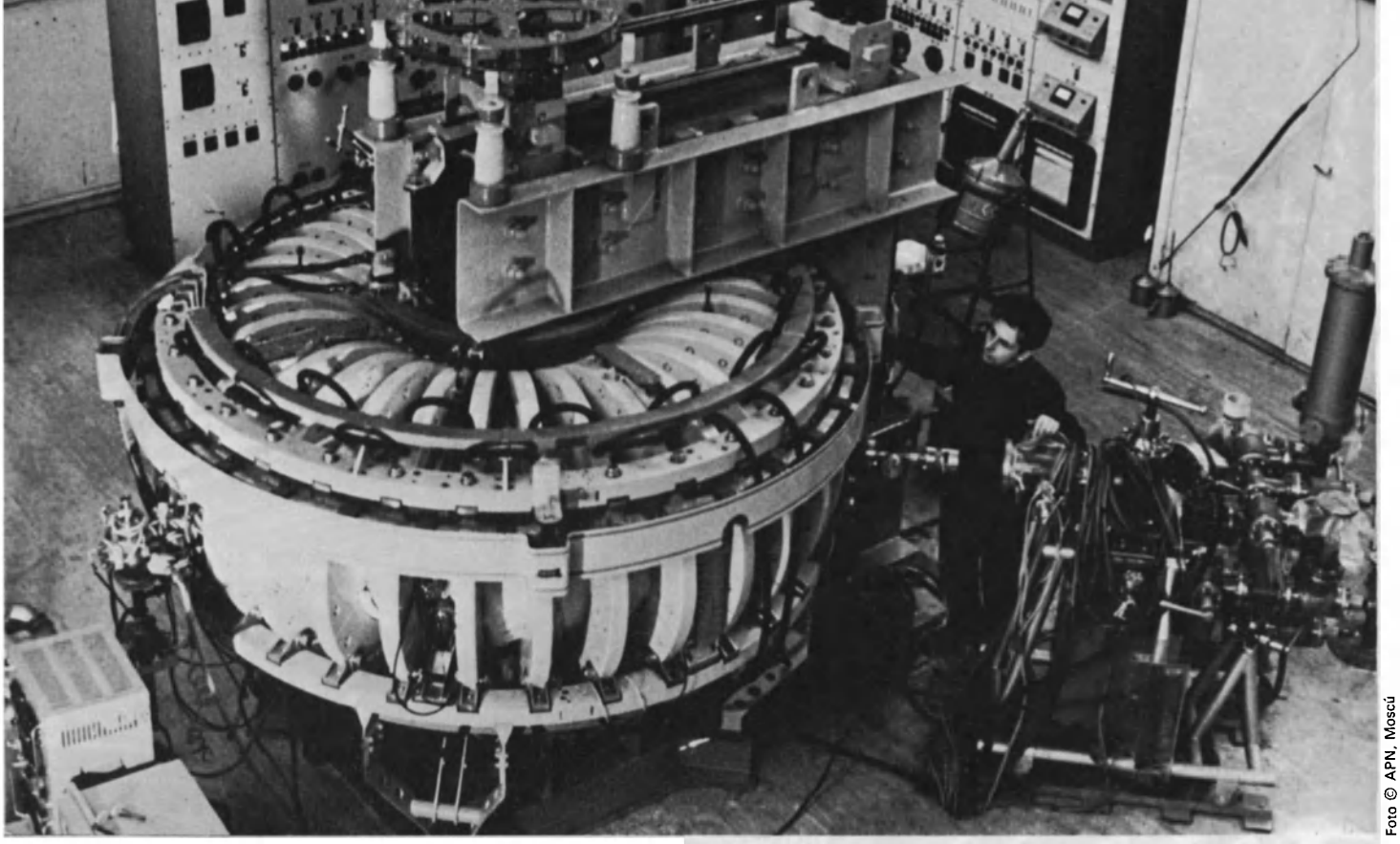
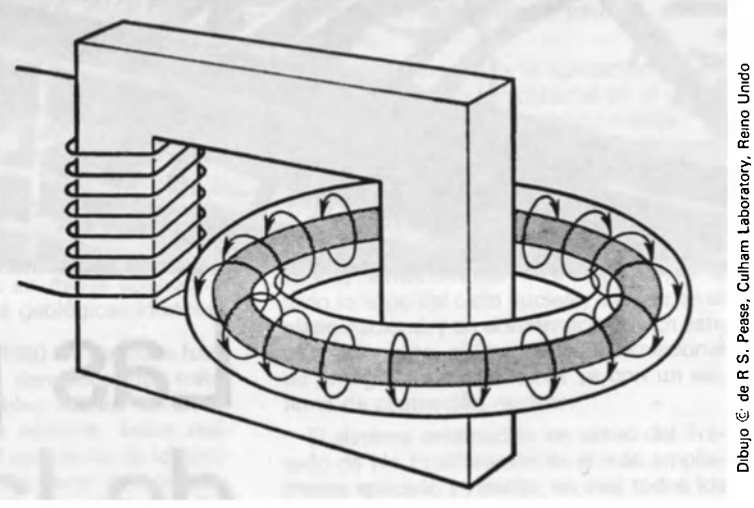


Foto © APN, Moscú

Cómo aislar cien millones de grados

Las reacciones termonucleares (o de fusión) sólo pueden producirse a temperaturas tan fantásticas (unos 100 millones de grados centígrados) que todo lo que se ponga en contacto con la mezcla reactiva (plasma) se funde instantáneamente. Para los científicos el problema consiste, pues, en cómo aislar el plasma de las paredes de su recipiente. Uno de los métodos para conseguir ese aislamiento es mantener el plasma en un campo magnético. En el aparato experimental soviético "Tokamak 6" (arriba), instalado en el Instituto de Energía Atómica Kurchatov, de Moscú, el plasma de fusión se mantiene en un recipiente en forma de rosca envuelto en bobinas para formar un potente campo magnético que estabiliza el plasma. Una corriente eléctrica que atraviesa el plasma lo calienta y produce un nuevo campo magnético que le mantiene separado de las paredes del recipiente.



Dibujo © de R. S. Pease, Culham Laboratory, Reino Unido

Las reacciones de fusión nuclear sólo se producen en gran escala a muy altas temperaturas, como las que existen en el centro de las estrellas. Para producir en la tierra una energía de este tipo debidamente controlada, la temperatura necesaria dependerá del combustible, pero, incluso con el tipo de combustible que hoy utilizamos, el cual requiere una temperatura menos elevada, ésta tiene que ascender de todos modos a unos 100 millones de grados centígrados.

Las temperaturas son tan altas que todo lo que entra en contacto con la mezcla de reacción (que a veces recibe el nombre de plasma) se funde. Existen dos métodos para evitar tal cosa : el confinamiento magnético y el inercial. Este último, que es relativamente reciente (data más o menos de 1970), consiste en almacenar el reactivo en una diminuta bola de cristal, que se calienta y comprime hasta que se produce la reacción de fusión y se origina una "microexplosión", que es demasiado pequeña para deteriorar el receptáculo, aunque sí lo suficientemente importante para producir energía útil.

Aunque los resultados de los experimentos realizados en materia de confinamiento inercial son muy prometedores, probablemente el camino mas rápido para llegar a construir reactores y explotarlos comercialmente consista en el otro sistema, es decir, el confinamiento magnético. Las investigaciones se han centrado y seguirán centrándose principalmente en el sistema de confinamiento del tipo Tokamak.

El Tokamak es un recipiente en forma de rosca o anillo muy grande; en él el plasma se mantiene separado de las paredes gracias a un campo magnético muy potente El plasma se calienta mediante una fuerte corriente eléctrica, de varios cientos de miles de amperios. En los aparatos experimentales se obtienen fácilmente temperaturas de 10 a 20 millones de grados, que pueden mantenerse tanto tiempo. como la corriente, es decir, un segundo hasta ahora.

El aislamiento térmico se consigue gracias al campo magnético, aunque en los aparatos actuales el aislamiento real no es suficientemente bueno para un reactor. Se piensa que las propiedades del plasma a una temperatura de 100 millones de grados centígrados serán similares a las que tiene a los 20 millones de grados. Cabe esperar, pues, que cuando se utilicen las corrientes y los recipientes mayores que se requieren en los reactores, el aislamiento térmico bastará para la producción de energía nuclear.

En la próxima generación de experimentos se va a estudiar la relación exacta entre el aislamiento térmico y el tamaño y la corriente. Estos experimentos permitirán también intentar elevar la temperatura hasta los 100 millones de grados centígrados necesarios, para lo cual parece que bastará con perfeccionar las técnicas actuales.

Son muy pocos los combustibles que reaccionan lo bastante de prisa como para ser realmente útiles. Se trata del deuterio (hidrógeno pesado), el litio, que se convierte en tritio (forma de hidrógeno aún más pesada), el helio 3 y el boro. Estos dos últimos intervienen en reacciones que rebasan nuestra actual capacidad técnica y que quizá no puedan controlarse nunca.

El reactor en que estamos trabajando

actualmente utiliza como combustible el deuterio y el tritio. Las cuatro quintas partes de la energía producida por la reacción son transmitidas a las paredes del reactor por los neutrones que se desprenden en esa reacción. Los neutrones entran en una zona que contiene permutadores de calor y litio y en la cual se desprenden de su energía y calientan el vapor. Reaccionan también con el litio para producir tritio (inexistente en estado natural), el cual puede entonces realimentar el reactor. El otro quinto de energía permanece en el plasma y lo mantiene a una temperatura suficientemente grande para que puedan continuar las reacciones de fusión.

Esta reacción es la más fácil de obtener. Presenta además una relación excelente entre la aportación y la ganancia de energía. De todas las reacciones de fusión es la única que puede producirse con suficiente abundancia en condiciones de confinamiento magnético.

Las reservas de combustible para los reactores de deuterio y tritio son muy grandes. El deuterio constituye el 0,0033 por ciento del agua de mar y representa una fuente inagotable en todos los sentidos. El litio existe en yacimientos bastante ricos de hasta un 1 por ciento de concentración en Sudáfrica y América del Norte y en los lagos salados y las aguas minerales. Utilizando simplemente estos depósitos, que equivalen a unos 10 millones de toneladas, hay bastante litio para producir energía suficiente para los próximos 200 a 500 años al ritmo previsto de consumo.

En general, el litio existe en la corteza accesible de la tierra en una concentración aproximada de 0,002 por ciento, lo que equivale a unos 100 millones de toneladas. Si explotamos tan sólo una pequeña fracción de los yacimientos del litio de menor calidad, tendremos bastante para un periodo de tiempo muy largo. Si, después de construir centrales basadas en las reacciones deuterio-tritio, somos capaces de concebir reactores viables a base de las reacciones deuterio-deuterio (que es la próxima y ambiciosa fase), tendremos en el mar reservas de energía para unos 10.000 millones de años.

No solamente disponemos de combustible en forma ilimitada sino que además es muy barato y fácil de obtener, con un tratamiento mínimo. La extracción de deuterio del mar requerirá utilizar pequeñas superficies de tierra y no repercutirá para nada en el mar. A su vez, como las cantidades de litio necesarias son muy reducidas, las operaciones mineras para obtenerlas serán de envergadura modesta, inferiores a las necesarias para el funcionamiento de los reactores de fisión y, evidentemente, menos gravosas y contaminantes que las de extracción a cielo abierto necesarias para las centrales térmicas alimentadas con carbón.

El único producto químico de la fusión es el helio, gas inerte. Así pues, no serán necesarias operaciones de reelaboración ni de eliminación de cenizas o combustibles usados. En cambio, se producirá un calor residual y cierta radiactividad, por lo que la ubicación de los reactores de fusión planteará prácticamente los mismos problemas que los de fisión.

Se planteara también el problema de eliminar las partes estructurales del reactor, que será preciso sustituir de cuando en cuando y que se habrán vuelto radiactivas. Seleccionando cuidadosamente los metales utilizados en la construcción, esos elementos podrían tener una actividad de hasta cien años.

La reacción requiere unas condiciones tan especiales que todo desequilibrio de las mismas interrumpirá automáticamente la reacción con gran rapidez. Por otra parte, solamente habrá cantidades muy pequeñas de combustible (hasta un gramo aproximadamente) en la zona del reactor. Por consiguiente, no existirá posibilidad alguna de que se produzcan graves escapes en la reacción.

El Consejo Internacional de Investigaciones sobre la Fusión ha propuesto el siguiente calendario para las investigaciones relativas a la energía de fusión. En los seis u ocho años próximos tendremos que esforzarnos por conocer mejor la física de los plasmas en combustión. Así estaremos en condiciones de ensayar la producción neta de energía de reactores experimentales, tarea que requerirá de siete a diez años.

A continuación, será preciso concebir elementos eficaces y rentables de los reactores de demostración, que estarán listos al cabo de quince años como mínimo, siempre que se disponga de todos los fondos necesarios. Vendrá después la comparación de los distintos sistemas de reactores.

TAN sólo entonces se podrá empezar a concebir y construir los reactores comerciales, el primero de los cuales quizás esté listo —si todo sale bien— a principios del próximo siglo. Este programa depende en gran medida del grado de apoyo público y financiero. Contamos con el entusiasmo y los conocimientos científicos necesarios para lograr rápidos progresos. Ahora bien, esos progresos dependerán de la realización de experimentos que requieren un material y un equipo muy onerosos. Como ya ha quedado dicho, el citado Consejo calcula que los costos necesarios hasta llegar a la fase del reactor de demostración ascenderán a 15.000 millones de dólares. Por sí sola, la realización del proyecto JET (Joint European Torus) costará probablemente unos 200 millones de dólares.

Gracias a la cooperación internacional pueden reducirse tanto la duración como el costo de estos trabajos. Los relativos al confinamiento magnético son plenamente accesibles desde 1958, lo que ha permitido una útil y amplia cooperación entre las naciones.

En 1960, los países de Europa occidental miembros del EURATOM (*) empezaron a trabajar juntos en un programa coordinado al que se incorporaron posteriormente el Reino Unido, Irlanda, Dinamarca, Suecia y, últimamente, Suiza.

La cooperación con la Unión Soviética ha sido especialmente fecunda en este campo y las mediciones críticas efectuadas en el dispositivo soviético Tokamak T-3 por un equipo británico que trabajó durante un año en el principal instituto de energía atómica de la URSS, representaron un jalón decisivo en las investigaciones relativas a ese tipo de dispositivo.

Cabe citar también como ejemplo la estrecha colaboración entre la Unión Soviética y los Estados Unidos en esta esfera, concretamente en aspectos tales como la creación de campos magnéticos muy potentes para producir plasmas muy densos y calientes.

El caso reciente más importante de colaboración internacional en la materia es la puesta en marcha del proyecto Joint European Torus (JET) en Culham (Reino Unido), organizado por los nueve países del EURATOM y Suecia. La finalidad del experimento consiste en calentar y confinar materiales en condiciones de temperatura, de densidad y de aislamiento térmico próximas a las que se requieren en un reactor de fusión controlada. El proyecto durará unos cinco años y costará aproximadamente 200 millones de dólares.

Las Naciones Unidas desempeñan un papel importante en lo tocante a la cooperación mundial, gracias a su Organismo Internacional de Energía Atómica. Este Organismo creó, en 1970, el Consejo Internacional de Investigaciones sobre la Fusión para que le asesorara sobre los progresos y la coordinación de estas investigaciones. Los países que llevan a cabo importantes programas de investigación en la materia comunican anualmente sus planes y sus actividades futuras al Consejo, que los somete a debate. De este modo se pueden introducir reajustes y modificaciones para impulsar los progresos de la investigación. El Organismo dispone también de servicios especializados en pequeña escala para prestar ayuda al programa internacional.

El citado Consejo ha publicado informes sobre la marcha de los trabajos ; en el más reciente de ellos, publicado este año, el Consejo afirma que las investigaciones han progresado ya tanto que no cabe poner seriamente en duda la base científica para construir instalaciones de fusión nuclear controlada con una producción de energía neta a partir de reacciones de deuterio-tritio.

De todos modos, todavía no se ha confirmado tal conclusión, y las investigaciones tendrán que combinarse con actividades tecnológicas que determinen si se pueden o no realizar sistemas de fusión que sean técnica y económicamente viables. El Consejo ha formulado recomendaciones detalladas, encaminadas a lograr una cooperación internacional más concreta en las próximas etapas, y hay indicios muy prometedores de que tales aspiraciones podrán cumplirse.

R.S. Pease

(*) Creado en 1957 por Bélgica, Francia, Italia, Luxemburgo, los Países Bajos y la República Federal de Alemania. Posteriormente se incorporaron el Reino Unido, Irlanda y Dinamarca.

El sol al alcance de la mano...

... pero ¿ cómo atraparlo y a qué precio ?

por A. Ramachandran y J. Gururaja

EL sol es la fuente de casi todas las formas terrestres de energía. Utilizando los sistemas de conversión apropiados, la energía solar podría, al menos en principio, satisfacer el grueso de la futura demanda energética mundial.

El consumo mundial de energía era en 1972 de 56 × 100^{12} kilovatios/hora, lo que equivale a la radiación solar sobre una superficie de 22.000 km^2, es decir ¡ solamente el 0,005 % de la superficie del globo ! Aun suponiendo que la conversión se hiciera con una pérdida del 90 %, las necesidades mundiales de energía podrían ser satisfechas a partir de la energía recibida por una superficie inferior a la mitad del territorio de un país como Francia.

El problema radica en las dificultades colosales que tanto a los científicos y técnicos como a los industriales plantea todavía la posibilidad de convertir aunque sólo sea una fracción de esa energía. Las dificultades fundamentales son de dos tipos. En primer lugar, la energía solar, aunque abundante y omnipresente, es por su misma naturaleza difusa, lo que hace que su captación y su conversión resulten onerosas. En segundo lugar, no está disponible en todo momento. Por consiguiente, hay que almacenarla. La cuestión radica, pues, en como elaborar técnicas rentables capaces de captar, convertir y almacenar esa energía.

El empleo de la energía solar ha suscitado grandes esperanzas. Se la ha considerado como la principal fuente de energía del futuro y los proyectos que se han elaborado en la materia son grandiosos. Por ejemplo, unos cuantos kilómetros cuadrados de células solares, dispuestas en órbita geoestacionaria, podrían transmitir a la Tierra, por hiperfrecuencias, la energía solar previamente convertida en electricidad. Asimismo, en determinados lugares estratégicamente situados se construirían centrales de energía solar en forma de torres, de 100 a 1.000 megavatios de potencia. Hoy se están ya realizando una serie de estudios de carácter experimental. En el mundo industrializado se piensa que todos estos proyectos podrán ser realidad en un plazo de 20 a 25 años. En cambio, para la mayoría de los países en desarrollo todo esto se pierde un poco en la niebla del futuro, cuando no en la de los sueños.

Sin embargo, hay una serie de aplicaciones más sencillas que parecen realizables a plazo breve o medio. Se trata de los sistemas de calefacción del agua o del aire, de la destilación, de la producción de calor para la industria, de las centrales de potencia pequeña o media y de los aparatos o procedimientos a base de pilas solares, así como de las aplicaciones indirectas como la bioconversión y la energía eólica o del viento. Estas aplicaciones, cuyo interés varía según los países, requieren a menudo opciones muy concretas con vistas a elaborar la tecnología necesaria. En los países en desarrollo lo normal es que se recurra preferentemente a las técnicas solares compatibles con los recursos localmente disponibles, limitación que pesa mucho menos sobre los países desarrollados.

Todo sistema que funcione a base de energía solar necesita colectores concebidos y fabricados especialmente con ese fin. Existen dos tipos de colectores : de placas y focales. Para obtener temperaturas moderadas (inferiores a los 100 °C) suelen utilizarse los colectores de placas. Así se obtiene la energía necesaria para la calefacción (que representa una buena parte de la energía consumida en Europa y los Estados Unidos), para secar diversos productos y para producir agua caliente.

En cuanto a los colectores focales, son indispensables cuando se quieren producir temperaturas elevadas. En su gran mayoría, estos colectores han de seguir al sol en su curso y poseer una buena superficie reflectora. Ambos requisitos plantean problemas técnicos bastante complejos.

Veamos ahora las aplicaciones concretas ya existentes. Los calentadores de agua son ya muy corrientes en el Japón (más de un millón de aparatos instalados), en Australia y en Israel (250.000), y se están popularizando en los Estados Unidos y determinadas regiones de Europa. En los países industrializados la necesidad de la calefacción doméstica es algo indiscutible y su incidencia en la economía un hecho aceptado por todos. No así en los países en desarrollo, donde aun no se ha determinado plenamente el orden de prioridad que debe aplicarse.

Para algunos, las condiciones climáticas y el modo de vida de esos países son tales que la demanda individual es relativamente escasa ; por consiguiente, no es éste un sector que deba desarrollarse prioritaria mente. Otros, en cambio, insisten en la utilidad que presenta para países como la India la posibilidad de utilizar una fuente de calor poco elevado para la transformación de los productos agrícolas en las zonas rurales, la producción de leche, las industrias químicas, las papeleras y las de la alimentación, los centros de sanidad pública, las escuelas, cantinas, hoteles, restaurantes, lavanderías, etc.

El calentamiento del aire es también una técnica bastante desarrollada. Su porvenir está asegurado en países como la India donde no faltan productos que secar : arroz, trigo, cacahuetes, copra, té, café, pimientos, uvas..., así como los productos de la pesca, por ejemplo. La insuficiencia y la ineficacia de los secaderos tradicionales originan pérdidas que alcanzan hasta el 20 o 25 % de los recursos alimentarios. Los hornos solares sustituirían con ventaja los procedimientos hasta ahora utilizados.

A. Ramachandran, *director general del Consejo de Investigaciones Científicas e Industriales de la India, es secretario del gobierno indio para la ciencia y la tecnología. Autor de un centenar de estudios científicos, preside actualmente la Sociedad para la Energía Solar de su país.*

J. Gururaja, *especialista indio en cuestiones de energía, es director de la sección de nuevas fuentes de energía del Departamento de Ciencia y Tecnología de la India y secretario de la Sociedad para la Energía Solar. Ha escrito numerosos estudios sobre ingeniería térmica.*

Prototipo de caldera solar instalado en la granja de investigaciones botánicas de la Universidad de Génova, en la costa italiana del Mediterráneo. Una serie de 271 espejos circulares y planos, de medio metro cuadrado cada uno y distribuidos en una superficie hexagonal de unos 135 metros cuadrados, reflejan la luz del sol concentrándola en la caldera. El vapor así producido acciona un generador eléctrico.



Foto Paolo Koch © Rapho, París

Se han construido y ensayado ya toda una serie de secaderos solares, desde los simples armarios y cámaras de fabricación local hasta las instalaciones de gran capacidad a base de soplantes. Una granja especializada en la producción de simientes cerca de Ludhiana, India, encargó recientemente una instalación de este tipo, capaz de secar 10 toneladas de arroz al día. Según los primeros cálculos, los costos de producción son muy inferiores a los del secado mediante los procedimientos ordinarios a base de mazut. Y la inversión de capital podría amortizarse en menos de cinco años.

También la refrigeración solar podría desarrollarse rápidamente. Su papel sería decisivo en lo que atañe a la conservación de los productos perecederos. Con este sistema podría lograrse una reducción de las pérdidas y, además, una garantía de ingresos estables para los agricultores, que a menudo se ven obligados a vender a cualquier precio sus productos ante la imposibilidad de conservarlos. Los países en vías de desarrollo deberían plantearse como objetivo prioritario la construcción de cámaras frías adecuadas a las dimensiones de las colectividades rurales. Ya se han fabricado y ensayado unidades de refrigeración por absorción, a base de energía solar, en varios países (Estados Unidos, URSS, Japón, Francia, India). De todos modos, quedan aun por superar muchas dificultades técnicas y financieras ; a decir verdad, la tecnología de la refrigeración solar tiene escasas posibilidades de ser comercializada en los próximos cinco años.

Pese a los progresos técnicos considerables alcanzados en este punto, la construcción de pequeños motores primarios para las aplicaciones de la energía solar no ha dado hasta ahora resultados apreciables. El coste de los pequeños motores hoy en funcionamiento es muy elevado. Actualmente se trabaja en la construcción de dos tipos de motores : por un lado, motores primarios de uno a tres kilovatios capaces de hacer funcionar pequeñas bombas de riego, y, por otro, unidades de bombeo o de producción de electricidad de potencia media (de 20 a 50 kilovatios) para hacer subir el agua hasta lugares elevados.

De ambas clases de motores se han fabricado prototipos en Francia y en Estados Unidos. Algunos se han vendido ya a países africanos. En los Estados Unidos funciona una bomba solar de riego capaz

de elevar a más de cuatro metros casi 50.000 litros de agua por minuto.

Tal logro da fe de que el potencial tecnológico existe. El problema está en los costos, que siguen siendo elevados. Además, muchos aparatos son todavía demasiado complicados y, por consiguiente, resulta difícil hacerlos funcionar en las condiciones propias de las zonas rurales. De ahí que el empleo de las bombas solares, por muy conveniente que sea en numerosos países en desarrollo, no parezca que vaya a generalizarse rápidamente.

Las unidades más potentes, de 10 a 50 kilovatios, son perfectamente adecuadas para las grandes explotaciones agrícolas, pero en los países en vías de desarrollo las centrales electrosolares de esta potencia deben construirse no sólo con vistas al riego sino también a las industrias rurales y a otras actividades comunitarias. Hasta ahora sólo se han construido unas cuantas centrales electrosolares experimentales (entre ellas una de 10 kilovatios en la India). Actualmente se hallan en estudio una serie de sistemas basados en técnicas variadas.

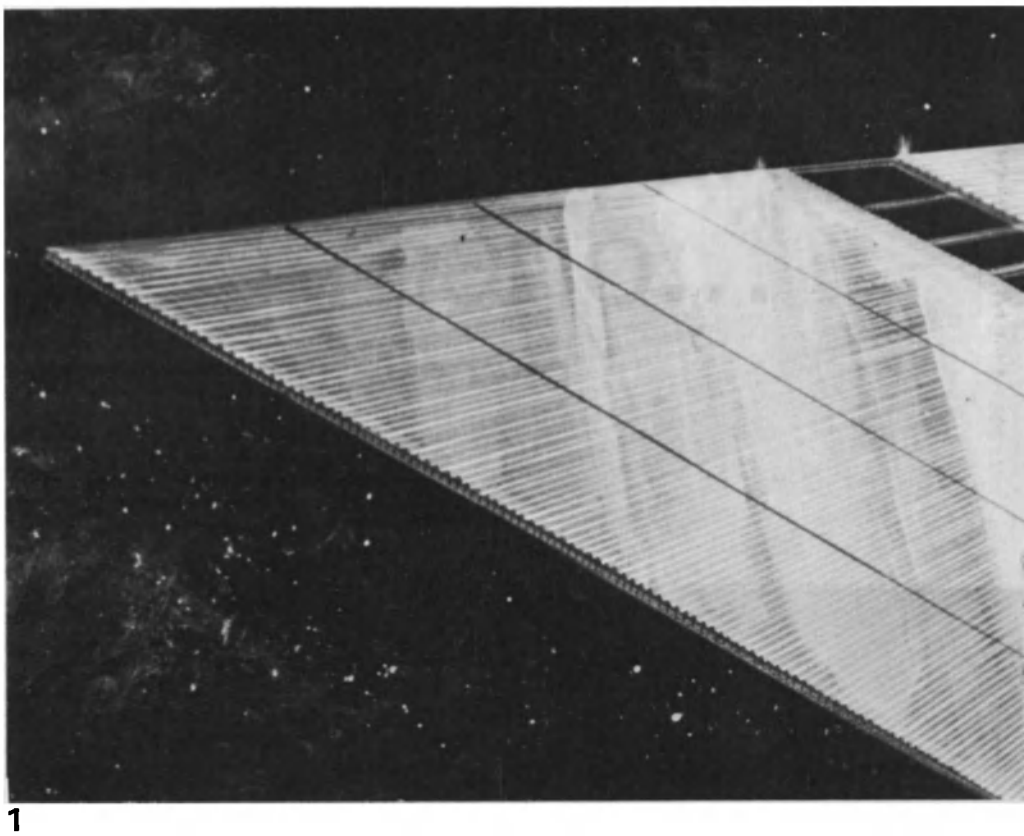
Los datos técnicos y económicos disponibles son aun insuficientes para que podamos prever la demanda futura de tales instalaciones. Y si en los últimos años se ha hecho frecuentemente hincapié en las ventajas de las bombas solares y de las pequeñas centrales electrosolares, es aun muy ancho el foso que separa las esperanzas de las realidades. De todos modos, señalemos que una sociedad californiana ha lanzado al mercado un sistema de concentración de la energía solar de 7,5 kilovatios a un precio aproximado de 65.000 dólares.

De todas las técnicas, la conversión directa de la energía solar en electricidad mediante células fotovoltaicas es la que parece más prometedora. Ciertamente, exige un alto grado de tecnicidad, pero un procedimiento que funciona tan sencillamente debiera representar una fuente de energía sobremanera interesante tanto para los países desarrollados como para los que están en desarrollo. Sus ventajas son, en particular, la ausencia de todo elemento mecánico móvil, la larga duración, una capacidad que oscila entre unos cuantos vatios y varios millares, y muy pocas exigencias en materia de mantenimiento. Por desgracia, los costes siguen siendo exorbitantes, por lo que sólo puede aplicarse para usos muy especializados.

Y, sin embargo, el precio de coste de las pilas solares ha disminuido ya mucho. El vatio "de punta" cuesta sólo de 10 a 12 dólares, es decir, diez veces menos que hace cinco años. Y se estima que los costos pueden disminuir aun, hasta alcanzar la cifra de medio dólar por vatio antes de fines del decenio próximo. La reciente evolución tecnológica en Estados Unidos, Alemania Occidental, Japón, Francia y otros países permite albergar fundadas esperanzas en este punto.

Entre las innovaciones últimas, cabe señalar la producción continua de las cintas de silicio destinadas a las pilas solares, la producción de silicio policristalino, la mejora del rendimiento y de la estabilidad de las pilas y la elaboración de concentradores de ancha abertura poco costosos. De

SIGUE EN LA PAG. 20



1

Centrales electrosolares e

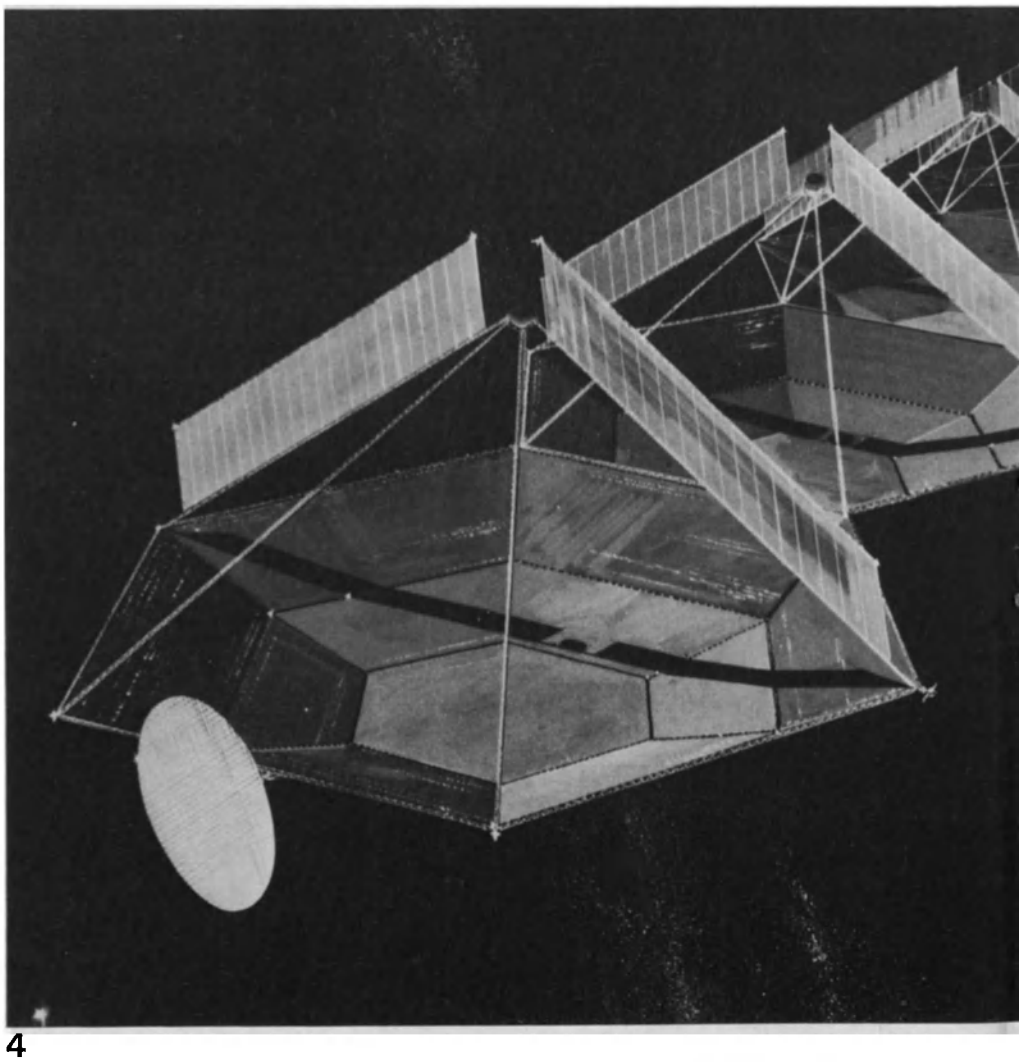
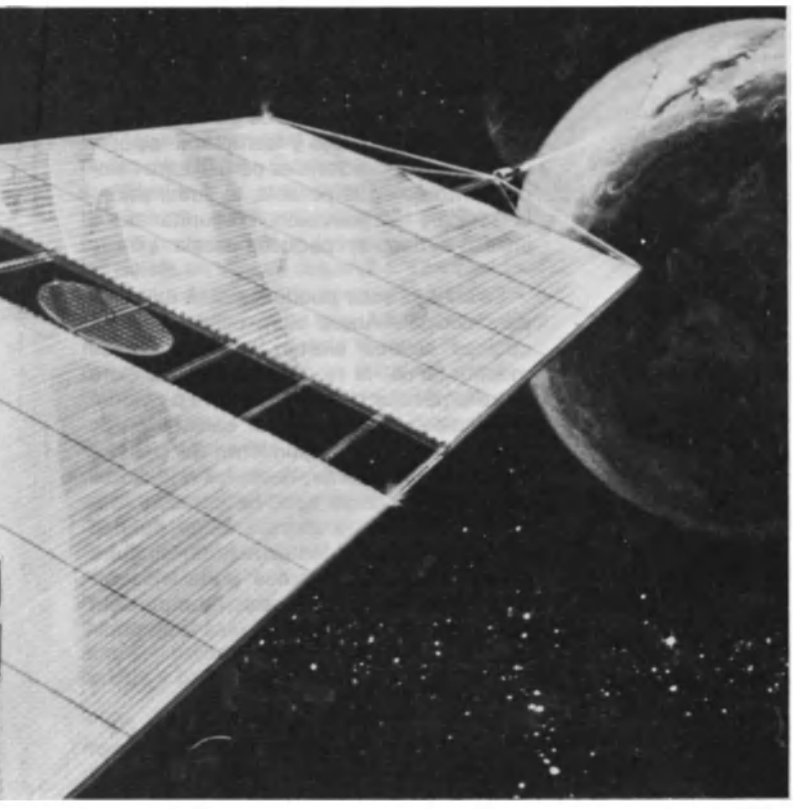


Foto © IPS, Paris

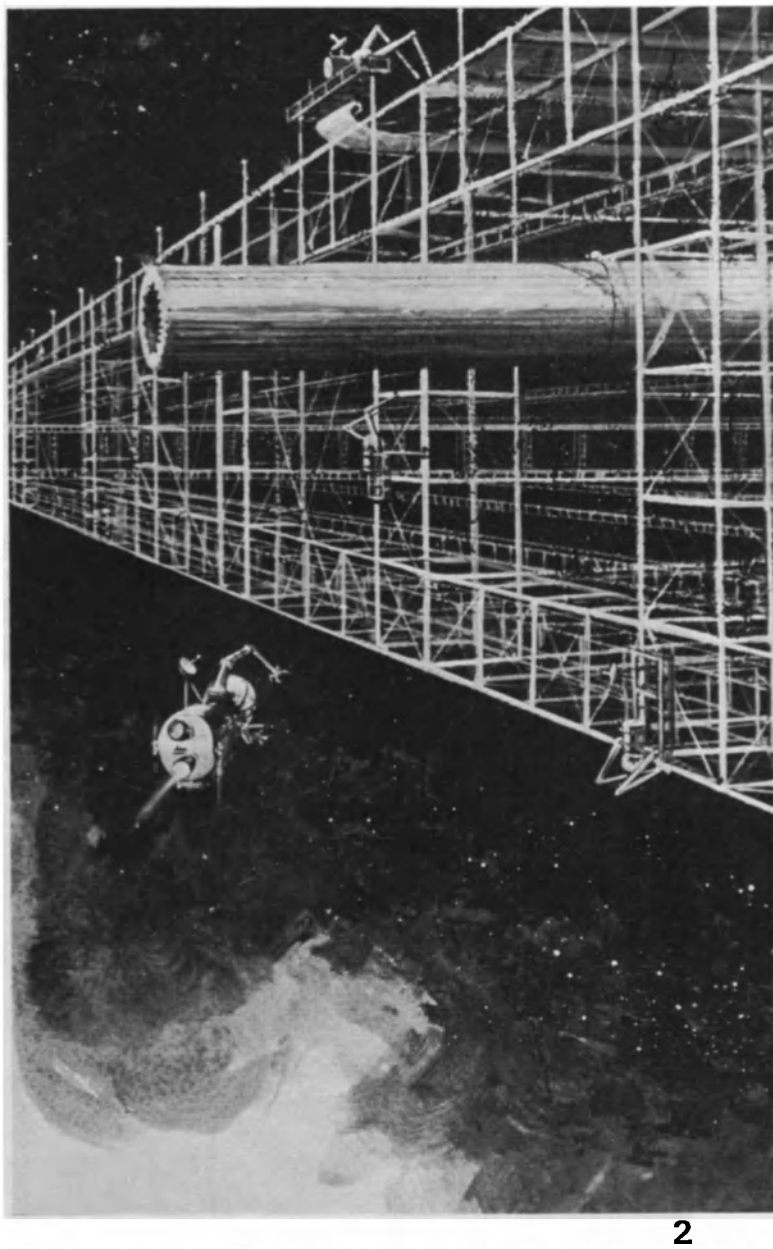
4



en órbita



Más allá de la atmósfera terrestre la energía solar es 15 veces mayor que la que llega a la superficie de la Tierra. La esperanza de aprovechar esa fuente prácticamente inagotable de energía ha estimulado la imaginación y el ingenio de los científicos y de los ingenieros actuales. Los dibujos de estas páginas (1, 2 y 3) muestran un audaz proyecto de una central satélite de energía eléctrica que actualmente se estudia en los Estados Unidos. Se trata de un inmenso colector de energía solar, ensamblado en el espacio y situado en órbita geoestacionaria a unos 35.000 kilómetros sobre la línea equinoccial. (A diferencia de las centrales terrestres de energía solar, la estación espacial no tendría problemas de almacenamiento dado que en ella la luz del sol se aprovechará de manera ininterrumpida). Desde esa posición orbital, la central satélite transmitiría la energía solar en forma de ondas ultracortas a una gran antena receptora terrestre de 10 km de diámetro, situada en alta mar (3). Allí esa energía sería convertida en electricidad utilizable para alimentar toda una red nacional. La estación satélite propiamente dicha estaría formada por un gran sistema de células solares, del tipo que utilizan actualmente las naves y los satélites espaciales, dispuestas en dos inmensos paneles rectangulares de 6 km de largo por 5 de ancho, aproximadamente (1). Entre los paneles, una antena circular de microonda, de unos 900 metros de diámetro, giraría de modo que estuviera siempre orientada hacia el receptor terrestre, en tanto que las células o pilas solares estarían constantemente frente al sol. El satélite, que puede generar 5.000 megavatios —energía suficiente para satisfacer las necesidades de una ciudad como Nueva York—, pesaría unas 20.000 toneladas. A partir de 1980 una lanzadera espacial podría transportar al espacio los elementos constitutivos de un laboratorio de estudios sobre la energía espacial, pero será necesario un vehículo mucho mayor para poner en órbita los materiales de construcción de un verdadero satélite, y sólo allí y entonces podrá comenzarse el montaje de la estación. En la foto 2, estado de los trabajos en un panel solar mientras un vehículo auxiliar transporta más material de construcción. En la foto 1, el satélite ya ensamblado se dirige al punto final de su órbita, lentamente propulsado por un artefacto electrosolar. La foto 4 nos muestra otro proyecto de una estación satélite de energía solar, formado por cuatro segmentos de 15 km de largo en total. El dispositivo circular transmite la energía del Sol a la Tierra por medio de ondas ultracortas.



2



3

Fotos © Grumman Aerospace Horizons, Nueva York

(Viene de la pág. 18)

este modo las pilas solares podrían un día penetrar en las aldeas y reemplazar los procedimientos tradicionales para el aprovisionamiento de agua potable, la iluminación, la radio y la televisión comunitarias, e incluso el riego en pequeña escala.

La energía solar puede también utilizarse para cocinar. Ahora bien, pese a que las cocinas solares existen ya desde hace muchos años, la realidad es que su éxito entre el público ha sido mínimo. Los modelos actuales van desde el calentador de madera, con un revestimiento de cristal y aislado térmicamente, hasta los reflectores parabólicos y otros tipos de concentradores. Pero, aunque efectivamente pueden servir para cocinar los alimentos, ninguno de estos aparatos parece poder rivalizar con las cocinas tradicionales, aunque sólo sea en lo que atañe al precio o a la comodidad.

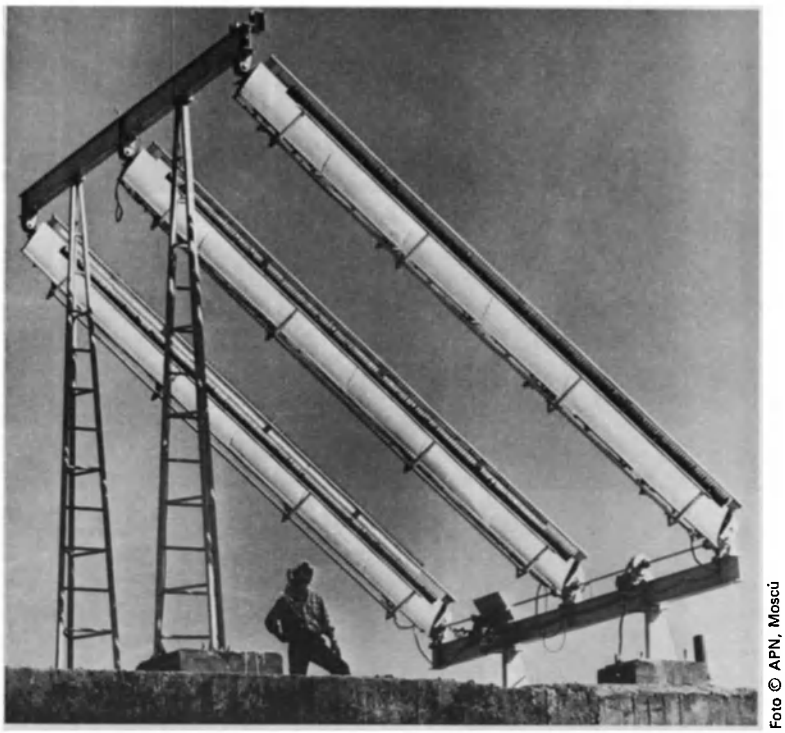


Foto © APN, Moscú

Esta bomba solar instalada en un sovjoz soviético, en las tierras áridas del Asia central, permite desalar el agua necesaria para satisfacer las necesidades del ganado lanar.



Foto © Facultad de Ingeniería, Jabalpur, India

El panel reflector dirige los rayos del sol hacia el horno cónico y la chimenea de este secadero construido en la India : el aire caliente es aspirado al nivel del suelo y propulsado, gracias a su propia velocidad ascendente, hacia los alimentos que hay que secar.



Foto © A. Ramachandran, Jabalpur, India

Otra instalación solar para secar simientes, instalada en una granja especializada de los alrededores de Ludhiana, India. En ella se obtienen 10 toneladas diarias de arroz seco.



Foto Boyer © Roger Viollet, París

Esta central solar fue construida en 1913 en Meadi, Egipto, según los planos de un ingeniero norteamericano. Detrás del pequeño edificio pueden verse los colectores acanalados. La energía así captada se utiliza para el riego.

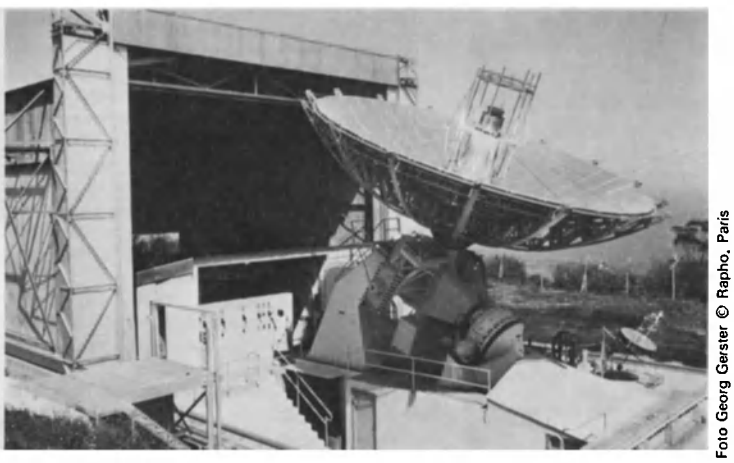


Foto Georg Gerster © Rapho, París

La central solar de Bouzareah, Argelia. El colector cóncavo puede seguir al sol a lo largo de su órbita.

En lo que respecta a la desalación del agua, los pequeños alambiques solares pueden ser útiles para satisfacer las necesidades familiares. Gracias a su extremada sencillez y a la posibilidad de fabricarlos localmente, les espera sin duda alguna un futuro prometedor en las zonas rurales de los países en vías de desarrollo. En Israel se destila ya de ese modo enormes cantidades de agua de mar. En una aldea cerca de Bhavnagar (India), donde el agua es particularmente salobre, se ha instalado recientemente un sistema de destilación con un rendimiento de 5.000 litros de agua dulce diarios. Al principio, la población mostraba escaso entusiasmo por el agua que salía del alambique solar, temiendo que hubiera perdido algunos de sus elementos vitales. Pero sus reticencias desaparecieron cuando se supo que, utilizando esta nueva agua para hacer el té, se necesitaba un 25 % menos de azúcar... La aldea entera —unas 1.000 almas— utiliza ahora el "agua solar" como bebida y para cocinar.

En última instancia, es el almacenamiento de la energía lo que parece plantear mayores problemas. Es ésta la piedra de toque de todas las aplicaciones de la energía solar. Sea cual sea la solución que se adopte, los costos de almacenamiento, unidos al precio de costo del sistema, serán muy elevados.

Por lo que toca al futuro, son los sistemas integrados, que utilizan simultáneamente varias fuentes de energía, los que tendrán mayores posibilidades prácticas de desarrollarse. Hay pues que estudiar y ensayar cuidadosamente la posibilidad de satisfacer las necesidas energéticas de las zonas rurales combinando fuentes de energía diversas —energía del sol, del viento, de la bioconversión—. Es muy posible que la tendencia futura en los países en desarrollo sea hacia este tipo de sistemas autónomos.

De todos modos, no hay que olvidar que la tecnología solar está todavía en sus comienzos y que será difícil que escape a las dificultades de toda gestación. Como los riesgos son considerables, los sectores industriales se muestran naturalmente vacilantes. De ahí que una gran parte de los fondos necesarios para el desarrollo de esa tecnología hayan de venir de la financiación pública y de la cooperación internacional.

A. Ramanchandran
J. Gururaja

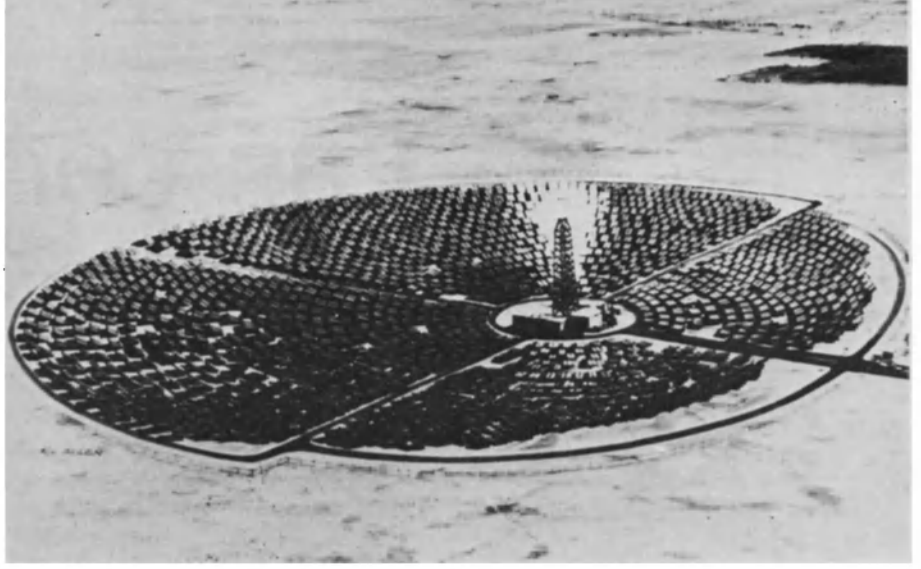


Foto © Keystone, París

Maqueta de una gigantesca central solar que se proyecta construir en Barstow, en una región desértica de California (Estados Unidos). Consta de 1.800 espejos que reflejan los rayos solares concentrándolos en el foco instalado en lo alto de la torre.



Foto © G. Shayka, Balaju Yantra Shala Ltd., Katmandú, Nepal

Desde tiempos inmemoriales, en Nepal se calienta el agua y se secan las cosechas, legumbres y hierbas medicinales mediante la radiación solar. Hoy día, gracias a un estudio del ingeniero nepalés Gyani R. Shayka, se ha llegado a la convicción de que los calentadores de agua solares son eficaces y rentables ; centenares de ellos se han instalado ya en los techos de hospitales, escuelas, hoteles y casas. Todos los materiales que requiere la construcción de esos calentadores son de origen local, empleándose de modo particular el cobre, y el trabajo lo realizan artesanos nepaleses. En la foto, instalación de colectores solares en el techo de una escuela de Godawari.



Foto © Laboratorio de Investigaciones Solares, Nagoya, Japón

El hospital de la Facultad de Medicina de la Universidad Kinki de Osaka, Japón, obtiene el agua caliente que necesita mediante 1.856 tubos colectores de rayos solares instalados en el tejado.

Las centrales de Neptuno

por Richard Arlen Meyer

CUANDO la gente piensa en la energía solar, imagina paneles térmicos en los tejados de las casas y otros edificios. En realidad, la energía solar está presente en el origen de todas las formas de energía (salvo la nuclear). El petróleo y el carbón se han ido formando en el subsuelo a lo largo de miles de años, pero en su origen hubo una combinación de la energía solar con elementos que existían ya en la tierra. La energía solar es también la fuente de energía del viento, de las mareas y de las olas, y los especialistas estudian actualmente los medios para extraer de esas fuentes una energía que no contamine la atmósfera, al contrario que los combustibles fósiles (carbón y petróleo).

La energía solar oceánica (conversión de la energía térmica de los océanos) utiliza prácticamente el calor constante de los mares, los cuales conservan la energía del sol 24 horas al día. Esta conversión aprovecha la diferencia de temperatura entre las aguas superficiales calientes del océano y las aguas profundas más frías, mediante termopermutadores que producen energía eléctrica. Gracias a este procedimiento será posible aprovechar el mayor de los sistemas de almacenamiento de energía térmica solar de la tierra.

Fue un físico francés, Jacques d'Arsonval, quien en 1881 tuvo por primera vez la idea de esa conversión. Uno de sus alumnos, Georges Claude, también francés, hizo la primera demostración práctica de la teoría utilizando simplemente una barcaza, en el Mediterráneo. Más tarde, a fines del decenio de 1920, construyó una central en Cuba. El experimento produjo realmente electricidad, pero una tormenta destruyó las canalizaciones de agua fría. Como en aquel entonces el petróleo era muy barato y abundante, no se volvió a reconstruir la central. Claude utilizaba el agua del mar como líquido energético, de un modo muy semejante a cómo las centrales de energía utilizan vapor para producir electricidad.

Actualmente, son los Estados Unidos los que están poniendo en práctica el programa más importante en esta materia, con una financiación pública que ha pasado de 700.000 dólares, en 1964 a los 56 millones previstos para 1978. Pero hay también otros países que se dedican a estudiar la energía solar de los océanos. El Japón viene trabajando intensamente en ello desde 1973, y existe un consorcio de naciones y empresas europeas que están empeñadas en este tipo de investigación.

En la mayor conferencia sobre conversión de la energía térmica de los océanos celebrada hasta ahora, en Miami (Florida), el pasado mes de febrero, estuvieron representados 16 países. Había delegados de países industriales, de países del Tercer Mundo que buscan una alternativa al petróleo y de países limítrofes con mares tropicales, e incluso representantes de los propios países productores de petróleo, conscientes de que su principal fuente de energía se está agotando rápidamente.

La energía solar calienta las aguas superficiales de los océanos y de otras grandes extensiones de agua a una temperatura muy superior a la de las aguas más profundas. Estas aguas frías profundas son elevadas hasta unos termopermutadores en los cuales se aprovecha la diferencia de temperatura para obtener energía. En el sistema de Claude se empleaba agua caliente del mar como líquido energético (con una diferencia de temperatura tan sólo de 13 grados centígrados), pero hoy los científicos estiman que resulta mucho más interesante recurrir a otros líquidos, por ejemplo, el amoníaco. En realidad, fue d'Arsonval quien propuso esto por primera vez.

Una ventaja esencial de la energía térmica del océano es que estas instalaciones pueden funcionar ininterrumpidamente y, además, no son contaminantes. Aunque en la actualidad las instalaciones de este tipo están previstas para zonas de aguas tropicales, un mayor rendimiento de los termopermutadores permitirá ampliar las localizaciones posibles.

La transferencia de energía desde el mar puede realizarse según varios métodos. El principal consiste en enviar energía eléctrica a la tierra mediante cables submarinos. La solución es rentable hasta una distancia de 320 kilómetros del litoral, pero se están estudiando otros procedimientos para la extracción de la energía. Se estudia también la posibilidad de elaborar *in situ* productos de alto contenido de energía, tales como el amoníaco, para aprovecharlos como fertilizantes, así como otros combustibles y productos químicos y grandes cantidades de agua dulce. Podría asimismo mejorarse la producción del aluminio, que consume mucha electricidad, recurriendo a centrales termoceánicas situadas cerca de las fuentes de su materia prima básica, a saber, la bauxita.

Además de estas instalaciones fijas, ya sea en alta mar, ya en el litoral cerca de las zonas oceánicas donde existen grandes diferencias de temperatura, se está empezando a estudiar otro proyecto : el de las centrales oceánicas "transhumantes", fábricas flotantes que se llevarían allí donde se dieran las diferencias máximas de temperatura, que cambian periódicamente en los océanos. Se están empleando ya satélites para confeccionar los mapas de esas zonas y seguir sus desplazamientos.

Gracias a sus subproductos, las instalaciones termoceánicas resultan aún más interesantes. Además de la producción de agua dulce, y sin contar la electricidad, el aspecto más importante consiste en la posibilidad de establecer pesquerías productivas en las aguas circundantes. Como el agua fría que se bombea desde el fondo del mar contiene muchos elementos nutrientes, los investigadores han descubierto que los organismos marinos prosperan en ese medio ambiente. La corriente de Humboldt, que es una surgencia natural de agua fría frente a las costas del Perú, permite capturas de pescado que equivalen casi al 20 por ciento del total mundial de la pesca comercial. Esta maricultura o acuicultura es un aspecto de las centrales oceánicas que despierta gran interés en todo el mundo.

Aunque la explotación térmica de los océanos ofrece grandes perspectivas como fuente de energía, quedan aun por resolver grandes problemas. Los organismos marinos se adhieren a la superficie de los termopermutadores, como las lapas y los percebes al casco de los barcos, pero se están elaborando métodos de limpieza para solventar el problema. Las canalizaciones de agua fría, que pueden tener hasta 20 metros de diámetro, plantean problemas de transporte y de montaje de una envergadura hasta ahora desconocida. Los ingenieros están estudiando a este respecto métodos que sean a la vez seguros y económicos.

Ahora bien, los principales problemas hoy pendientes no son de carácter técnico sino político. ¿ A quién pertenecerán esas centrales oceánicas ? ¿ Quién se encargará de su funcionamiento ? ¿ Dónde podrán funcionar sin rebasar las fronteras políticas ? ¿ Cómo habrá que reglamentarlas ? ¿ Qué forma de imposición fiscal procederá aplicar ? Cabe esperar que las conferencias internacionales sobre el derecho del mar que se celebrarán en 1978 permitan contestar a algunas de estas preguntas.

En 1978, las investigaciones térmicas

Richard Arlen Meyer, *zoólogo y oceanógrafo estadounidense, se ha especializado en el estudio de la energía térmica de los océanos y sus utilizaciones. Dirige y edita en Chicago un boletín mensual de circulación internacional sobre esos problemas.*

Cuando el enorme calor acumulado en los océanos ponga en movimiento inmensos generadores de electricidad

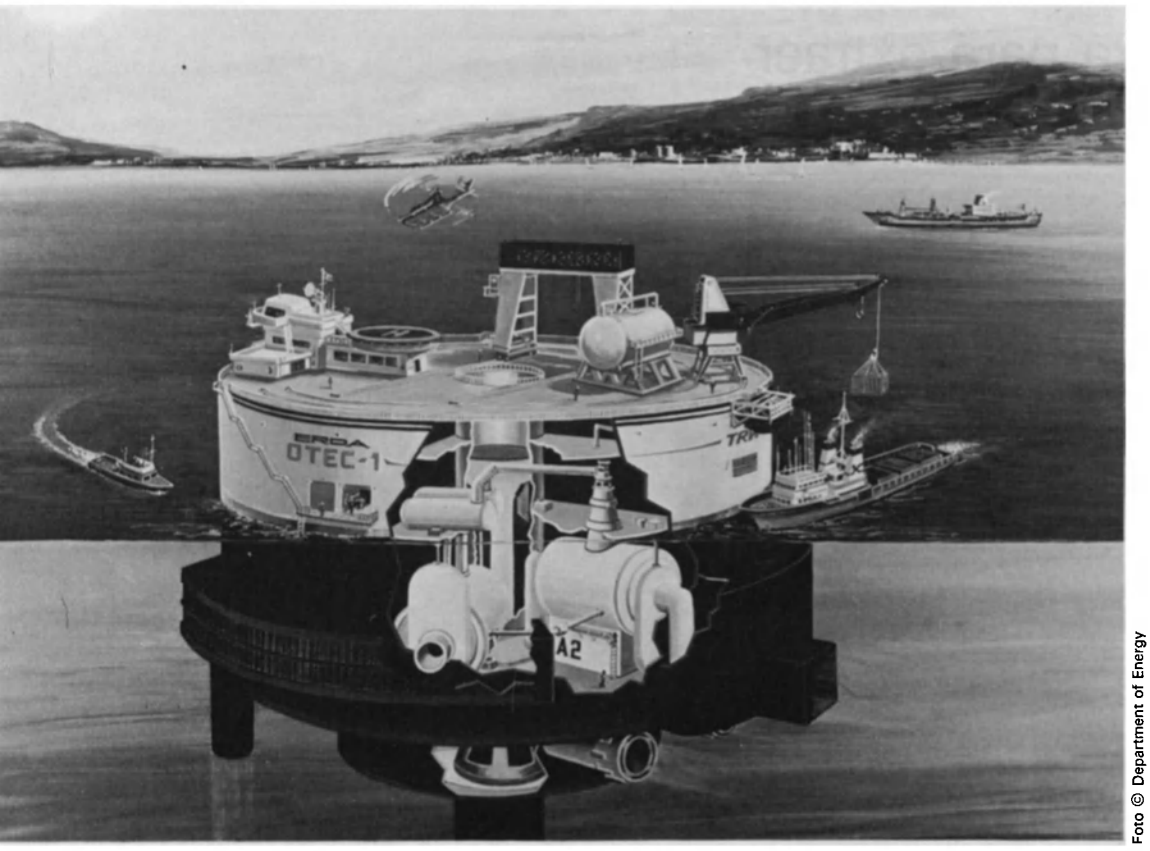


Foto © Department of Energy

En las centrales tradicionales de energía eléctrica el carbón, el petróleo o los combustibles nucleares producen calor, que transforma el agua en vapor ; éste, a su vez, acciona las turbinas que generan electricidad. En cambio, en el ciclo de la energía térmica oceánica no se quema combustible alguno y en lugar de agua se utiliza otro fluido, el amoníaco o el propano. El diagrama de esta página ilustra el funcionamiento del ciclo termoceánico. Una bomba hace circular el amoníaco en circuito cerrado : primero es calentado por las aguas superficiales del océano (parte superior del dibujo) transformándose en gas ; éste pasa a través de una turbina en la que se expande y acciona un generador ; de allí sale enfriado y a baja presión, pasa a un termopermutador donde se enfría aun más, volviendo al estado líquido... y el ciclo comienza de nuevo. A la izquierda, representación gráfica de la plataforma de superficie de una central de conversión de energía oceánica : la tubería desciende a gran profundidad en el mar para captar el agua fría.

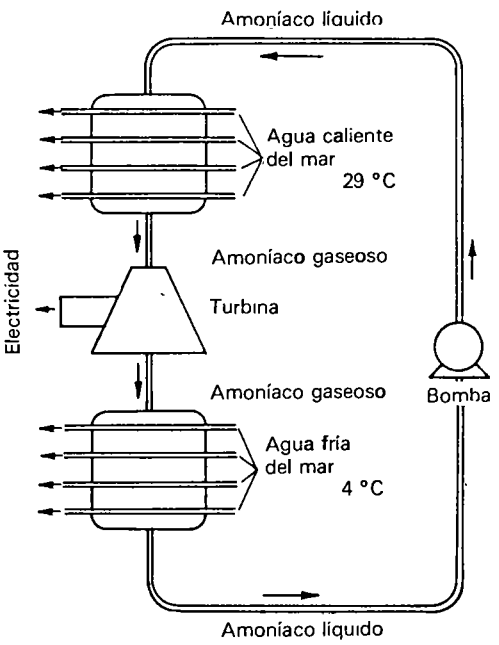
oceánicas van a salir de los laboratorios en los cuales se vienen estudiando desde hace casi diez años el rendimiento de los termopermutadores, la eliminación de la corrosión y de la incrustación biológica y el emplazamiento de las centrales termoceánicas. A fines de 1978 o principios de 1979 estará ya montada en el mar la primera mininstalación de este tipo, probablemente frente a las costas de Hawai o de Puerto Rico, y se prevé montar otras instalaciones mucho mayores en 1980. La consignación de fondos para ello, en los Estados Unidos como en otros países, aumenta rápidamente, pese a que de todas las posibilidades que ofrece la energía solar, la conversión de la energía térmica oceánica es la que probablemente ha suscitado menos atención entre el público en general.

A diferencia de las centrales de energía tradicionales que producen uno u otro tipo de contaminación, la conversión termoceánica es una fuente de energía limpia. Aunque se han realizado amplios estudios preliminares para determinar los efectos de esas instalaciones sobre el medio ambiente, las objeciones hasta ahora emitidas han sido mínimas. En realidad, la vida marina, a la vez que quedará protegida mediante pantallas o filtros en las aberturas de las canalizaciones, se beneficiará de las aguas ricas en elementos nutrientes, venidas de profundidades donde la vida es escasa. Según los investigadores, en el año 2000, suponiendo que toda la energía mundial se obtuviera por este procedimiento, la temperatura de la superficie de los océanos sólo descendería en menos de un grado, ya que el calor utilizado sería constantemente sustituido por el sol.

Si los investigadores de todo el mundo estudian los medios posibles de explotar la energía térmica oceánica, es porque las posibilidades que ofrece el océano de obtener una energía inagotable, limpia y renovable son ingentes. Según ciertos cálculos se podrían producir todos los años 180 billones de kilovatios-hora simplemente en la corriente del Golfo, a lo largo de la costa oriental de los Estados Unidos de América. Tal cifra es aproximadamente 75 veces superior a la de la energía que consumirá América del Norte en 1980.

En zonas costeras similares, que se prestan a la explotación de la energía solar de los océanos, vive una proporción considerable de la población mundial. Teniendo en cuenta el ingenio y el tesón del hombre, cabe esperar que los océanos produzcan lo que han venido almacenando durante siglos, a saber, una energía limpia e inagotable, procedente del sol.

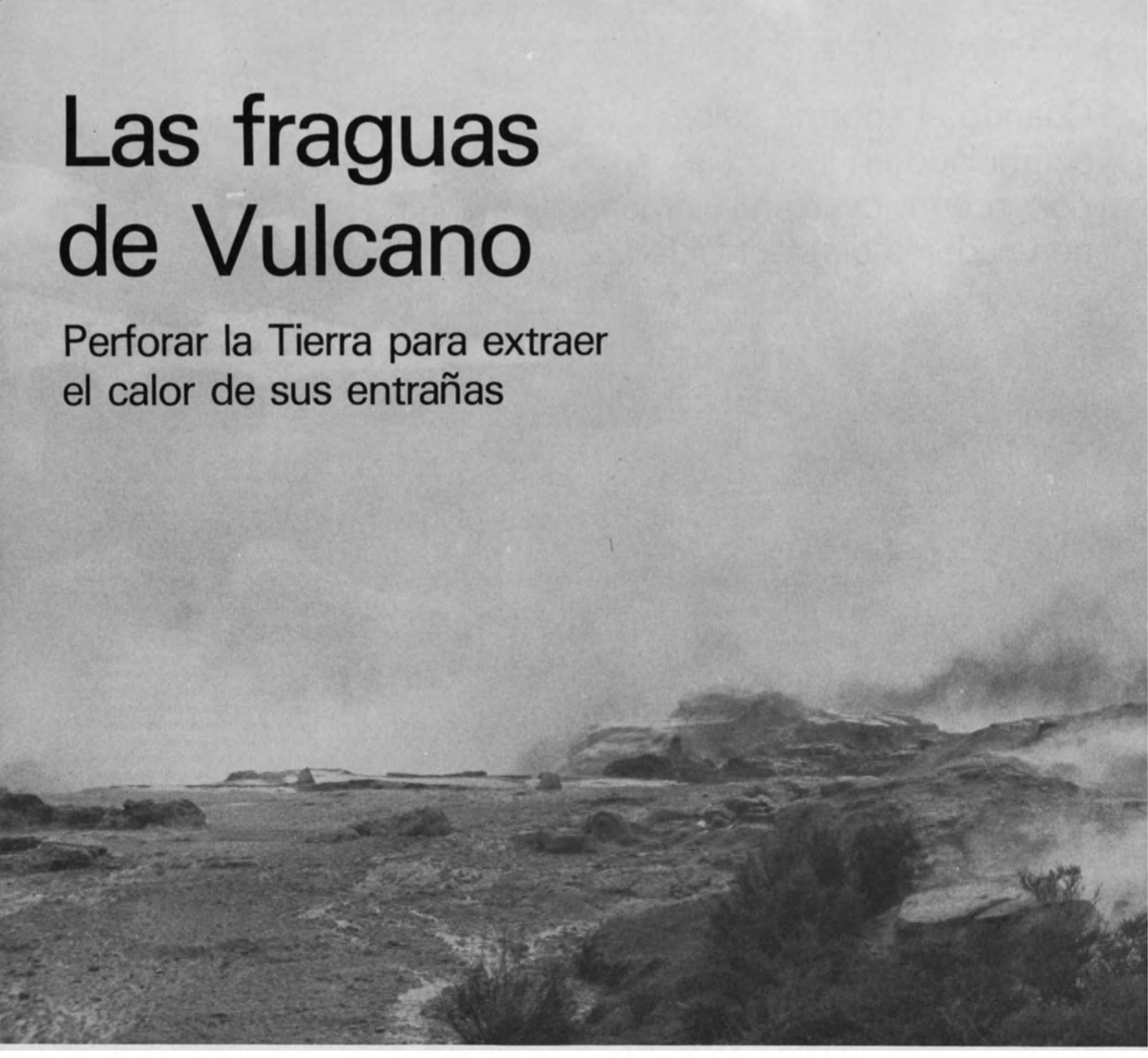
R.A. Meyer



Dibujo © R. Meyer, OTEC, Chicago

Las fraguas de Vulcano

Perforar la Tierra para extraer el calor de sus entrañas



por Ralph Haenel

Ralph Haenel, *de la República Federal de Alemania, es director del Departamento de Geotermia y director adjunto del Departamento de Geofísica del Centro de la Baja Sajonia para el Estudio de los Suelos, y presidente de la Comisión Geotérmica de la República Federal de Alemania. Profesor de la Universidad Técnica de Berlín, es uno de los directores del Proyecto de desarrollo y de investigaciones de la Comisión de las Comunidades Europeas de Bruselas.*

EN su sentido más lato, la energía geotérmica consiste en el aprovechamiento del calor contenido en el globo terrestre.

Como es sabido, la temperatura de nuestro planeta crece con la profundidad. Pues bien, suponiendo que fuera posible aprovechar en todos los continentes aunque sólo fuera la centésima parte de la energía contenida en forma de calor hasta una profundidad de cinco kilómetros, la humanidad podría satisfacer sus necesidades de energía durante 4.000 años.

Por desgracia, tomar directamente de las rocas el calor que contienen es tarea imposible. El único calor que podemos utilizar es el que las rocas ceden a las aguas subterráneas. Es decir, la energía geotérmica sólo puede ser explotada por el momento en forma de agua caliente natural o de vapor natural.

Pues bien, de este tipo de aprovechamiento se benefician ya 16 países. En 1975, la potencia eléctrica instalada a base de esta fuente de energía se elevaba a 1.191 megavatios. Por su parte, la potencia no eléctrica —la de las aguas utilizadas para la calefacción— era de 6.340 megavatios. La energía geotérmica total utilizada era, pues, de unos 7.500 megavatios, cifra que corresponde a la producción de siete grandes centrales nucleares. En el último decenio la energía geotérmica utilizada se ha duplicado cada cinco años. En consecuencia, cabe prever una producción de 15.000 megavatios en 1980. Y, dada la crisis de la energía, tal cifra podría quedar superada.

Hasta ahora la energía geotérmica aprovechada en forma de vapor natural ha estado ligada a las zonas volcánicas en cuyo suelo aparecen indicios en forma de géiseres, emanaciones de vapor de agua o de vapores sulfurosos y fuentes de agua caliente. Actualmente empieza a extenderse la exploración a otras zonas.

El vapor se presenta, bien como vapor puro, llamado vapor seco, bien como mez-



Foto Paolo Koch © Rapho, Paris

Los maoríes suelen llamar a una isla de Nueva Zelandia, North Island, "la isla humeante". Y es que en ella, por ser en su mayor parte de origen volcánico, abundan los géiseres y otras manifestaciones de la actividad geotérmica. En la foto, una vista parcial de la reserva termal de Whakarewarewa, en Rotorua, una de las atracciones turísticas del lugar. En otras zonas de la cuenca geotérmica se utiliza el calor del subsuelo para producir electricidad y calefacción.

cla de vapor y de agua, el llamado vapor húmedo. Este es conducido a un separador donde se aísla el agua del vapor. A continuación el vapor pasa del separador a la turbina, la cual acciona un generador de electricidad.

Respecto de las aguas que sirven únicamente para la calefacción, no pueden utilizarse directamente, ya que a menudo contienen sustancias nocivas. Hay pues que hacerlas pasar por un intercambiador de calor donde se calienta el agua fría proveniente del edificio que hay que calentar. En el mercado existen intercambiadores de calor que pueden funcionar con aguas naturales provistas de un porcentaje relativamente elevado de sustancias químicas nocivas (como el flúor, el cloro, etc.).

Hasta ahora, la utilización de la energía geotérmica para la calefacción sólo ha tenido carácter local. En efecto, por razones de rentabilidad el transporte de agua caliente hasta el consumidor no puede exceder de cinco kilómetros. De todos modos, como aproximadamente el 40 % de la energía consumida por la humanidad está destinada a calentar los hogares y proporcionarles agua caliente, el aludido "carácter local" no resta importancia al empleo de la energía geotérmica, la cual podría muy bien sustituir parcialmente a la corriente eléctrica.

En resumidas cuentas, para poder utilizar la energía geotérmica en gran escala habría que lograr transformarla en corriente eléctrica, única capaz de ser transportada hasta puntos muy alejados y utilizada en diversas formas. Por desgracia, hasta ahora sólo se ha podido transformar en electricidad el vapor natural de las zonas de volcanismo reciente. En la mayor parte de las zonas habitadas, lo normal es que tal vapor no exista.

De ahí que se estén investigando actualmente otras formas de aprovechar la energía geotérmica en gran escala. Como sabemos, la temperatura aumenta en profundidad de 3 a 4° C cada cien metros. En base a ello, el sistema *Hot Dry Rock* (utilización de las rocas secas de alta temperatura) consiste en realizar una perforación hasta la zona en que las temperaturas alcanzan los 250° C o más. A esa profundidad las rocas ya no contienen agua : son perfectamente secas. Pues bien, si en la tubería perforada se introduce agua a alta presión, la roca del fondo se quiebra, produciéndose una fisura de varios kilómetros. Después se realiza otra perforación hasta esa fisura lo más lejos posible de la primera. Se introduce entonces agua fría por la primera tubería, agua que se calienta en la fisura hasta alcanzar temperaturas de 200 a 250° C y que asciende a la superficie por la segunda tubería. La disminución de la presión durante este ascenso convierte el agua caliente en vapor, que puede utilizarse ahora para la producción de energía eléctrica.

Este procedimiento se ensayó por primera vez en Los Alamos, Estados Unidos. La tarea de producir una fisura de las dimensiones requeridas no presenta dificultades. El problema, en cambio, radica en cómo alcanzar mediante una perforación a gran profundidad esa fisura, que es estrecha y vertical. Además, aun no se ha conseguido regular la velocidad y la cantidad de agua que pasa a través de la fisura y, por consiguiente, tampoco la producción de energía.

En la Alemania Federal se está estudiando la posibilidad de extraer la energía mediante una sola perforación. Mientras tanto, en Gran Bretaña y Suecia se examina un procedimiento, llamado *Warm Dry Hot,* que permitiría aprovechar la energía geotérmica de las rocas a temperaturas menos elevadas. En Islandia y Alemania se intenta sustituir la creación de una fisura artificial utilizando una fisura natural situada a gran profundidad y que, sin embargo, contenga ya agua —por ejemplo, en la fosa tectónica del Rin.

En este mismo sentido puede darse un paso más, consistente en crear varias fisuras y en disgregar un volumen considerable de rocas mediante una explosión nuclear. El rendimiento calorífico sería en ese caso sobremanera alto. Pero hay que estudiar antes toda una serie de cuestiones relativas al coste de esta técnica, a sus efectos sobre el medio ambiente, a las sacudidas telúricas que puede provocar, etc.

Por otro lado, habría que reducir el coste de las perforaciones. Coste que aumenta de manera exponencial a medida que aumenta la profundidad : perforar hasta tres kilómetros cuesta aproximadamente 1.200.000 dólares, hasta seis kilómetros casi cinco millones.

En los Estados Unidos se estudia actualmente un procedimiento consistente no en perforar o pulverizar la roca sino en llevarla al estado de fusión. El calor de unos 1.500° C necesario para la fusión sería pro-



Foto Bruno Barbey © Magnum, Paris



Foto François Bibal © Phototèque EDF, Paris

A la izquierda, un cráter diminuto en la región de Chuquicamata, al norte de Chile. La lava, al salir despedida intermitentemente en torno a una fumarola, ha acabado por formar una chimenea natural. Arriba, una parte de las instalaciones geotérmicas de Larderello (Italia), en una zona de Toscana donde abundan las fuentes termales ; en ellas se tratan desde 1918 los vapores subterráneos boricados. El yacimiento, que abarca cerca de 200 kilómetros cuadrados, alimenta actualmente una fábrica de agua pesada y varias centrales eléctricas.

ducido bien eléctricamente, bien mediante un pequeño reactor nuclear instalado detrás de la sonda.

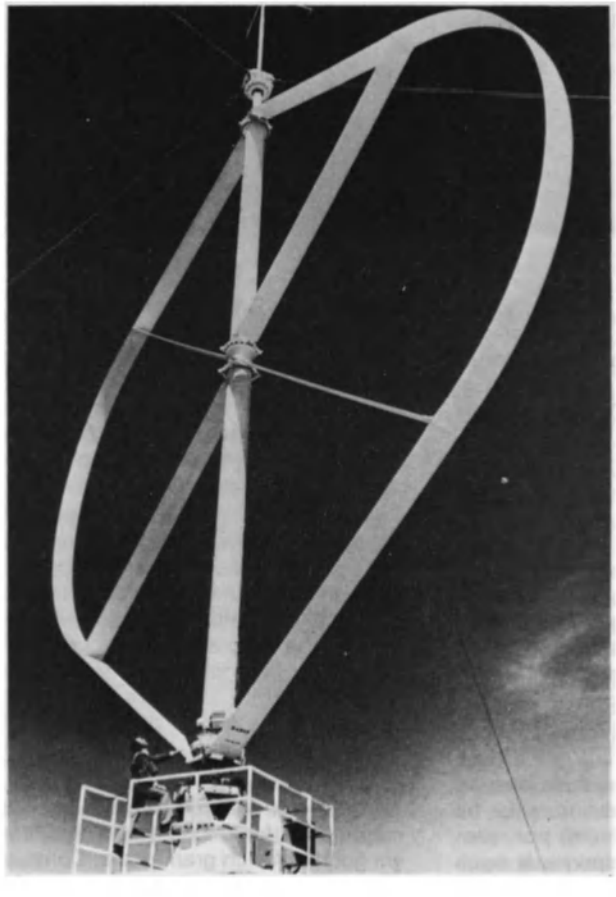
Pero ¿ no podría mejorarse también el procedimiento *Hot Dry Rock* ? La idea, novísima, consiste en lo siguiente : si se añadieran determinados productos químicos al agua contenida en la fisura subterránea, el calor producido por las reacciones químicas proporcionaría una energía suplementaria. Según los primeros cálculos, la ganancia de energía sería del mismo orden que la energía térmica propiamente dicha.

Por otro lado, en el fondo de los océanos existen regiones en las que las condiciones de temperatura son muy favorables y que se prestan a su aprovechamiento : por ejemplo, las estructuras dorsales submarinas. En ellas las rocas incandescentes surgen constantemente desde las profundidades hacia los fondos marinos y forman una corteza que se renueva constantemente. Señalemos también las cuencas de formación reciente y próximas a las costas, como el golfo de México, donde puede encontrarse agua caliente a presión. Pero, en ambos casos, la energía calorífica ha de ser captada en condiciones difíciles para ser conducida después hasta el consumidor a grandes distancias.

Como se ve, estamos descubriendo poco a poco una nueva e inmensa fuente de energía. Pero su utilización está aun en mantillas. Por lo pronto, hay que desarrollar considerablemente las técnicas actuales. Sólo así podrá la humanidad aprovechar verdaderamente un día los formidables "yacimientos de calor" del subsuelo terrestre.

R. Haenel

Este molino sí es un gigante



¿ Qué habría pensado Don Quijote de este extraño molino de viento, cuya altura es la de una edificio de siete pisos y en lo alto del cual se hallan instaladas las palas de un rotor de 17 metros de diámetro ? Molino que por lo demás no muele trigo ni grano alguno, sino que, aprovechando una energía que el hombre utiliza desde la antigüedad, produce electricidad. Esta pequeña central eólica, construida en Nuevo México (Estados Unidos), desarrolla una potencia de 60 kilovatios con vientos de 45 km por hora. La energía eólica tendrá en el futuro otras muchas aplicaciones.

Foto © IPS, París

El carbón : un viejo combustible con mucho futuro

por Vladimir A. Kuzminov

LAS reservas conocidas de hulla representan actualmente el 87 % de los combustibles minerales fósiles de nuestro planeta. Sus posibilidades energéticas son más de 6 veces superiores a las de las reservas de petróleo.

Pero los yacimientos mundiales de hulla, incluidos también los probables, contienen, según los especialistas, cerca de 8,5 billones de toneladas de combustible cuyo potencial energético supera en 25 veces al petrolífero.

Si se renunciase a las otras fuentes de energía para utilizar exclusivamente carbón mineral —lo que es poco probable—, aun tomando en consideración el incremento anual de su consumo, que en los últimos tiempos es del 2 al 2,5 %, y las pérdidas inevitables, cabría disponer de carbón para 200 años más, aproximadamente.

Así pues, aunque por espacio de un siglo y medio la hulla ha sido la principal fuente de energía del planeta, sus reservas y su potencial energético continúan siendo colosales.

No obstante, desde los años 50 de este siglo empezó a menguar el ritmo de extracción y de consumo ; ahora su cuota en el balance energético mundial no pasa del 30 %, y las fuentes principales de energía son el petróleo y el gas natural. Tal disminución se debe a la preferencia otorgada a estos otros combustibles, en comparación con los cuales el carbón tiene una serie de desventajas : su extracción exige inversiones materiales considerables y entraña ciertos peligros para la salud y para el medio ambiente ; los métodos de transporte y de alimentación de los hornos con carbón son muy laboriosos y poco eficaces ; por efecto de su combustión se desprenden gases y partículas pesadas peligrosos e irreductibles y se forma una gran cantidad de escoria, lo que repercute negativamente sobre el entorno ; además, sin un tratamiento previo, el carbón no puede servir de combustible para los medios de transporte modernos. Como es lógico, todas estas circunstancias frenan el incremento de su producción y de su consumo.

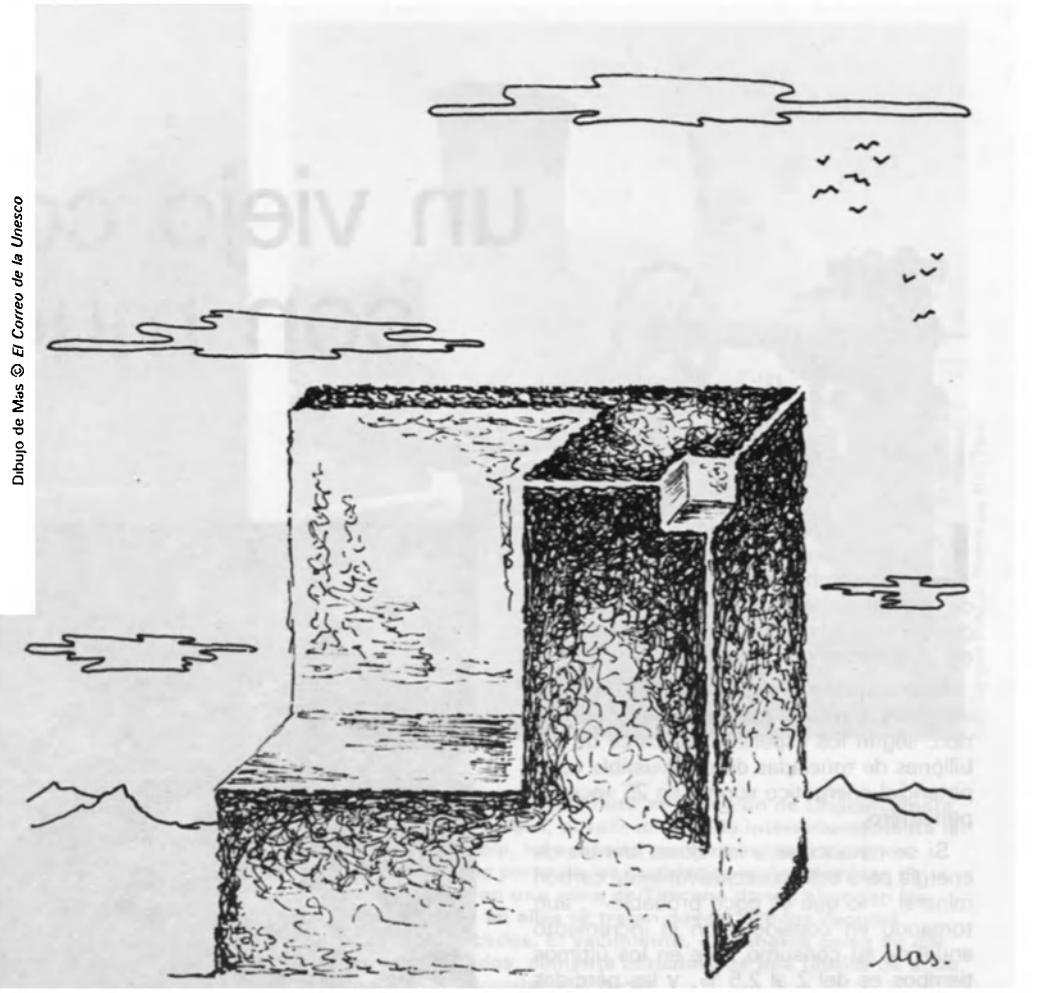
Por otra parte, se conocen ya formas de superar esos inconvenientes y están en estudio otras, lo cual permitirá revalorizar esta vieja y probada fuente de energía y de



Foto © D. Mack y D. Cerez, Ginebra

Fue en el periodo carbonífero —hace 210 millones de años— cuando comenzaron a formarse en los pantanos los depósitos de hulla gracias a la transformación de las materias vegetales. Este combustible fósil, el carbón, sigue siendo uno de los recursos energéticos más preciosos de la humanidad. Sucede a veces que en las minas se conserven huellas de ese proceso infinitamente remoto, como la de este helecho *alethopteris* que dejó su forma grabada en el carbón de piedra.

Vladimir A. Kuzminov, *físico soviético experto en calorimetría, se dedica particularmente al estudio de los problemas generales de la producción energética en el mundo, sobre los cuales ha escrito dos libros y numerosos artículos.*



Dibujo de Mas © *El Correo de la Unesco*

Si el cubo que aparece en el dibujo estuviera completo representaría, a escala, la totalidad de las reservas conocidas de carbón en 1974. Tendría 21 kilometros de alto, o sea más del doble de la montaña más elevada de la Tierra. El cubo pequeño extraído del ángulo superior derecho, de 1,8 km de lado, representa el consumo mundial de energía de 1975 en términos de carbón. El gran cubo excavado a la izquierda, de 13,5 km de lado, corresponde a la cantidad de carbón que se requeriría para satisfacer todas las necesidades mundiales de energía de aquí al año 2050.

materias primas químicas y ampliar las perspectivas energéticas de la humanidad.

Los esfuerzos orientados a mecanizar y automatizar todo el proceso de extracción permiten abaratarlo considerablemente y hacer mucho menos nocivo el trabajo en la industria carbonífera. La gasificación subterránea del carbón de piedra y los métodos hidráulicos de explotación de los yacimientos son, quizá, los más prometedores. La conducción por tuberías de una mezcla carbonoacuosa o carbonopetrolífera desde las explotaciones hasta los puntos de consumo permite solucionar los problemas relativos al transporte de este combustible.

Lo más importante, empero, es el considerable perfeccionamiento de la tecnología de su consumo con miras a un más pleno aprovechamiento de sus posibilidades energéticas, incrementando su poder calorífico específico y evitando las consecuencias nocivas para la salud y para el medio ambiente, así como a fin de conferir al carbón unas modalidades de uso que no requieran transformaciones sustanciales en las instalaciones de combustión de los sistemas energéticos al sustituir con carbón el petróleo y el gas natural.

Los especialistas estiman que el porvenir del carbón en términos de utilización amplia está vinculado a su gasificación, tanto subterránea como de superficie (o sea, a la obtención de metano sintético a partir del carbón), y a su transformación en petróleo sintético. Ingenieros y científicos de numerosos países tratan de perfeccionar las técnicas de gasificación y de obtención de combustible líquido a base de carbón, que todavía no son lo bastante modernas y rentables para promover su empleo en gran escala.

Debe subrayarse en particular que la obtención de gas y de petróleo sintéticos a partir del carbón elevará la capacidad competitiva de éste como sustituto del petróleo y del gas natural en la industria química.

Por consiguiente, el retorno del carbón a la vida energética activa y la intensificación de su extracción y consumo dependen, en primer lugar, de la acertada solución de una serie de problemas científicos y técnicos.

En esta época de revolución técnicocientífica, de brillantes descubrimientos científicos y audaces soluciones tecnológicas, y teniendo presente el anhelo de todas las naciones de asegurar una base energética sólida a las generaciones venideras, cabe la seguridad de que todos esos problemas se resolverán sin demasiada tardanza. Algunos ya están resueltos y los resultados se aplican en las industrias extractiva y energética de diversos países. Mundialmente conocidos son los adelantos de la Unión Soviética en la esfera de la gasificación subterránea y de la extracción del carbón por procedimientos hidráulicos. Científicos e ingenieros de Inglaterra, Unión Soviética, Estados Unidos, República Democrática Alemana, República Federal de Alemania, Polonia, Checoslovaquia y otros países se esfuerzan intensamente en perfeccionar las técnicas de gasificación superficial y de obtención de combustible líquido a partir del carbón.

El incremento de la extracción y del empleo del carbón como fuente de energía ofrece perspectivas favorables no sólo para los países industriales sino también para los que están en vías de desarrollo, sobre todo los del continente asiático, que disponen de grandes existencias de este combustible destinadas a servir de base energética nacional para su progreso, en particular para su industria en crecimiento.

Prever el futuro es pasar revista al pasado, valorar lo hecho, analizar el presente y, sobre tales premisas, elegir con acierto.

¿ Qué papel desempeñará la hulla en el futuro energético de nuestro planeta ?

Es arduo anticipar el porvenir de este combustible en un país o una región concretos. Lo que sí puede afirmarse con certeza es que durante mucho tiempo todavía seguirá proporcionando a la humanidad la energía que necesita para su desarrollo. Tal es la respuesta que se desprende de un análisis científico de las posibilidades potenciales del carbón.

V.A. Kuzminov

Los microbios trabajan para nosotros

por Jan W. M. La Rivière y Edgar J. DaSilva

Jan Wilhelm M. La Rivière, *microbiólogo holandés, es profesor del Instituto Internacional de Ingeniería Hidráulica y Ecología de Delft (Países Bajos). Es presidente de la Organización Internacional de Investigaciones Celulares (ICRO) y de la Comisión Internacional de Ecología Microbiana, así como de la Subcomisión de Ciencias Naturales de la Comisión Nacional Holandesa para la Unesco. Ha colaborado ya en varios números de nuestra revista.*

Edgar J. DaSilva, *microbiólogo indio, pertenece a la División de Investigaciones y Enseñanza Superior Científicas de la Unesco, ocupándose particularmente del programa Unesco/ICRO sobre conservación de los microorganismos para la protección del medio ambiente. En un número anterior de* El Correo *se publicó ya otro artículo suyo.*

LA agricultura moderna está provocando graves problemas ecológicos, debido a la acumulación de residuos y al empleo de plaguicidas. Por otra parte, absorbe grandes cantidades de fertilizantes y de combustibles fósiles.

Las investigaciones que se realizan en todo el mundo sobre temas aparentemente divergentes están suscitando perspectivas muy esperanzadoras a este respecto, a saber, la explotación plenamente integrada no solamente de plantas y animales sino también del enorme y flexible potencial de los microorganismos. Los microbios no son únicamente elementos muy eficaces de captación de la energía solar sino que además —y esto es igualmente importante— pueden *facilitar la producción bioenergética* porque son instrumentos ideales para mejorar la producción de alimentos mediante la bioconversión y para reaprovechar los residuos y desechos. Pero, sobre todo, pueden extender la agricultura de la tierra al mar, mediante las técnicas acuícolas.

Por consiguiente, la integración tiene en este caso un doble sentido : gracias a la utilización integrada de *todos* los tipos de organismos vivos, es posible integrar también la producción de alimentos, forrajes, combustibles, fibras y productos químicos en un nuevo tipo de agricultura muy económica, flexible y polivalente. Esa nueva agricultura se caracterizará por un despilfarro mínimo de energía y de minerales, un menor consumo de fertilizantes y plaguicidas, una gama mucho mayor de los cultivos, la utilización de técnicas acuícolas y, sobre todo, el empleo de la biotecnología tanto en las unidades familiares y en las zonas rurales como en la gran industria.

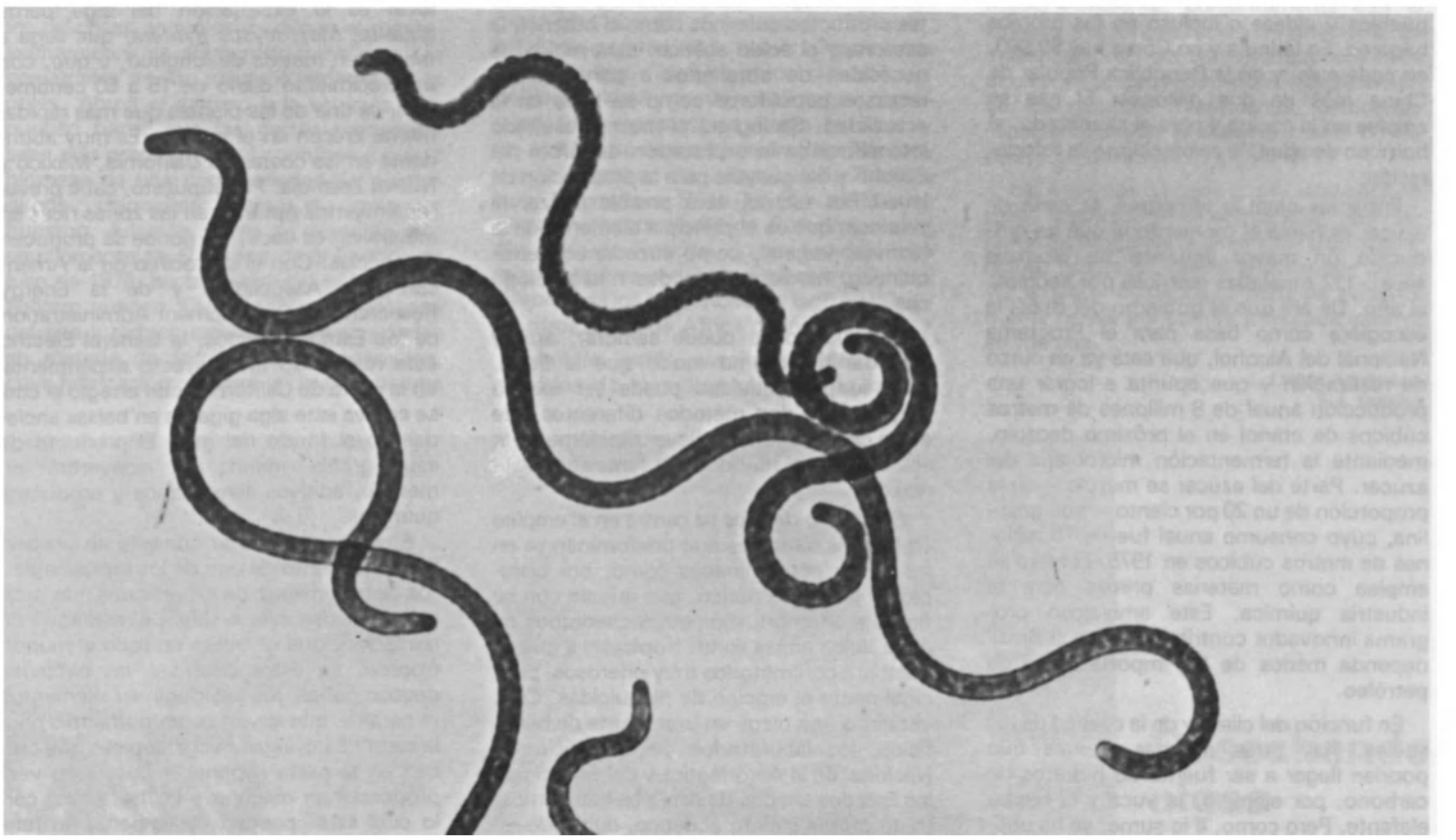


Foto © J.W.M. La Rivière

Esta alga microscópica, la *spirulina placentis*, del tipo verdiazul, se presenta como una fila en forma de espiral de células que, para reproducirse, deben pasar por la fase del huevo. Las algas de este tipo constituyen el eslabón intermediario entre las bacterias fotosintéticas y los vegetales que desprenden oxígeno. Abundantes en las aguas dulces, poseen un poder nutritivo conocido desde tiempos remotos ; ya los aztecas las recogían en los lagos para hacer con ellas una especie de tortas secas. En Africa, los ribereños del lago Chad las aprovechan también como complemento alimentario.

Retrato fotosintético



Foto Peter Fischer © *Austria Today*, Viena

El profesor Hans Molisch, botánico austríaco nacido en 1856 y muerto en 1937, fue uno de los grandes precursores de la fisiología vegetal. Utilizando el negativo de una fotografía suya varios científicos realizaron, como homenaje al maestro, una interesante experiencia que muestra el mecanismo de la fotosíntesis, origen de todos los combustibles fósiles, ya se trate del carbón o del petróleo. En la hoja de la derecha, las partes oscuras del negativo impidieron que los rayos del sol penetraran hasta la clorofila, de modo que la fijación del carbono sólo pudo realizarse allí donde la luz era absorbida durante la reacción de asimilación. En la hoja de la izquierda —en la que se ha "revelado" la foto en una prueba positiva— las partes oscuras representan los almidones (compuestos de carbono y de agua) formados durante el mismo proceso.

Los microbios no son desconocidos en las explotaciones agrícolas. Durante miles de años han desempeñado una función esencial sin que se comprendiera su acción ni se aprovecharan todas sus posibilidades.

Una población mixta de microorganismos especiales puede convertir casi todos los tipos de biomasa en una mezcla de bióxido de carbono y metano, que es un combustible gaseoso, limpio y fácil de almacenar y de transportar. Además de este fenómeno de la digestión anaeróbica, que se produce cuando no hay aire, existe el antiguo procedimiento de la fermentación alcohólica, en el cual los hidratos de carbono se transforman en etanol líquido mediante la acción de levaduras y con la ayuda de otros microbios idóneas. En ambos casos, los materiales residuales tienen un gran contenido de minerales, que cabe utilizar como fertilizantes. Las fuentes de biomasa que es posible convertir en metano o en etanol pueden ser materiales de desecho o bien una biomasa cultivada especialmente con este fin en la tierra o en el agua.

Desde hace ya casi medio siglo, en los países industriales se viene recurriendo a la digestión anaeróbica en gran escala para tratar las aguas negras, mediante el empleo de aparatos de fermentación hasta de 12.000 metros cúbicos. En las remotas zonas rurales de los países en desarrollo, en las que no hay grandes posibilidades de introducir la energía eléctrica en un futuro próximo, la producción de biomasa a partir de esos residuos tiene un gran valor. En Asia, funcionan desde hace diez años miles de pequeñas instalaciones de biogás, en pueblos y aldeas o incluso en los propios hagares. En la India y en Corea hay 80.000, en cada país, y en la República Popular de China más de dos millones. El gas se emplea en la cocina y para el alumbrado, el bombeo de agua, la calefacción y la refrigeración.

Entre las plantas terrestres, la caña de azúcar es hasta el momento la que ha producido un mayor volumen de biomasa seca : 112 toneladas métricas por hectárea al año. De ahí que el gobierno del Brasil la escogiera como base para el Programa Nacional del Alcohol, que está ya en curso de realización y que apunta a lograr una producción anual de 8 millones de metros cúbicos de etanol en el próximo decenio, mediante la fermentación microbiana del azúcar. Parte del azúcar se mezcla —en la proporción de un 20 por ciento— con gasolina, cuyo consumo anual fue de 15 millones de metros cúbicos en 1975. El resto se emplea como materias primas para la industria química. Este ambicioso programa innovador contribuirá a que el Brasil dependa menos de las importaciones de petróleo.

En función del clima y de la calidad de los suelos, hay otras muchas plantas que podrían llegar a ser fuente de hidratos de carbono, por ejemplo, la yuca y la hierba elefante. Pero como, a lo sumo, se ha utilizado un pequeño porcentaje de los miles de plantas conocidas con fines agrícolas, una ulterior selección, sumada a las investigaciones genéticas y fisiológicas, producirá normalmente nuevas plantas más eficaces todavía que permitan obtener hidratos de carbono, y algunas de las cuales se podrán explotar en tierras marginales.

Parece también probable que reviva la polivalente industria de la fermentación, que se quedó estancada después de la Segunda Guerra Mundial y que puede producir ahora, además de alcohol, importantes productos químicos como el butanol, la acetona y el ácido acético, para mitigar la necesidad de obtenerlos a partir de los recursos petrolíferos como se hace en la actualidad. Se logrará el mismo resultado intensificando la explotación del árbol del caucho y del guayule para la producción de lates. Por último, será posible utilizar la celulosa, que es el principal elemento de la biomasa vegetal, como sucedáneo petroquímico, mediante métodos microbiológicos.

El agua no se puede sembrar, arar y escardar del mismo modo que la tierra, pero su productividad puede ser mucho mayor. Hay dos métodos diferentes que están contribuyendo a llevar rápidamente la acuicultura del mundo de la fantasía al de la realidad.

El primero de ellos se centra en el empleo de hierbas naturales que predominan ya en las aguas contaminadas como, por ejemplo, el jacinto acuático, que infesta con su flotante alfombra kilómetros cuadrados de agua dulce en las zonas tropicales y que se combate con métodos muy onerosos, principalmente el empleo de plaguicidas. Convirtiendo una plaga en una fuente de beneficios, los laboratorios de la Asociación Nacional de la Aeronáutica y del Espacio de los Estados Unidos de América han demostrado que el jacinto acuático, cultivado en balsas de aguas negras, puede producir hasta 374 litros de biogás (de un 60 a un 80 por ciento de metano) por kilo de materia seca, cuando se la somete a una digestión anaeróbica microbiana. Esta operación no solamente produce energía a partir de desechos sino que además permite volver a aprovechar sus elementos minerales como fertilizantes, así como eliminar de las aguas negras los metales pesados tóxicos.

Otro ejemplo de utilización de unas plantas acuáticas que predominan en el plano local es la explotación del alga parda gigante, *Macrocystis pyrifera,* que llega a tener cien metros de longitud, y que, con un crecimiento diario de 15 a 60 centímetros, es una de las plantas que más rápidamente crecen en el mundo. Es muy abundante en las costas de California, México y Nueva Zelandia. Por supuesto, cabe prever rendimientos óptimos en las zonas ricas en minerales, es decir, allí donde se producen surgencias. Con el patrocinio de la American Gas Association y de la Energy Research and Development Administration de los Estados Unidos, la General Electric está realizando un proyecto experimental en la costa de California, con arreglo al cual se cultiva este alga gigante en balsas ancladas en el fondo del mar. El producto de esta granja marina se convertirá en metano, aditivos alimentarios y productos químicos.

El segundo método consiste en un perfeccionamiento de uno de los procedimientos de tratamiento de los residuos más antiguo y más simple, a saber, el estanque de oxidación, que se utiliza en todo el mundo tropical. En estos sistemas, las bacterias descomponen los residuos en elementos minerales, que sirven como nutrientes para la capa de las algas microscópicas que crecen en la parte superior y que, a su vez, proporcionan oxígeno a las bacterias, con lo cual éstas pueden desempeñar su función. Normalmente los lodos resultantes de esas algas pasan al agua superficial receptora sin provocar graves problemas ecológicos, pero la energía que contienen las algas y sus elementos minerales —que tienen su origen en lus desechos— no se aprovechan para el consumo humano.

Especialistas de la Universidad de Cali-

fornia en Berkeley han añadido a este sistema el ingenioso método del Reaprovechamiento de Células Cosechables. De este modo se resuelve de una vez el problema de una explotación económica de la biomasa y el de mantener una determinada alga en situación predominante en el estanque : al devolverse selectivamente una gran parte de las células de algas que se pueden separar mediante un método barato de filtración, todo el estanque queda automática y constantemente poblado con esas algas filtrables. Una vez cosechadas, esas células, que tienen un 60 por ciento de proteínas, más o menos, pueden utilizarse como alimentos, forrajes, para la alimentación de los peces y como fuente de biogás y fertilizantes mediante una fermentación microbiana anaeróbica.

Aunque esta técnica se inició como una forma de utilización de los residuos, ha abierto también el camino al cultivo de la bioenergía mediante la acuacultura en cualquier escala : en principio, un solo y único caudal de nutrientes minerales puede mantener un suministro completo de algas y, por consiguiente, también de metano. De este modo, la intensidad de la radiación solar y la superficie de agua disponible pasan a ser los únicos factores determinantes de la capacidad de producción de bioenergía de una granja acuícola. En la actualidad, se obtienen hasta 80 toneladas métricas de materia seca por hectárea al año, pero se prevé un aumento considerable de esta cantidad.

Como ya ha quedado dicho, los microbios pueden contribuir a mejorar las actuales prácticas agrícolas mediante el reaprovechamiento de elementos minerales y la conversión de los residuos en sustancias útiles. Abren el camino a la acuicultura y pueden hacer que las tierras marginales sean más productivas, al contribuir a que la biomasa de una gran variedad de plantas quede disponible para el consumo humano. Además, como se describía más ampliamente en *El Correo de la Unesco* de julio de 1975, las bacterias del género *Rhizobium* pueden fijar el nitrógeno gaseoso del aire y reducir con ello las necesidades en materia de fertilizantes nitrogenados, cuya fabricación requiere un gran consumo de energía. Por otra parte, los microbios que provocan enfermedades en los parásitos de las plantas se utilizan ya para sustituir a los plaguicidas químicos con fines de protección de los cultivos, y contribuyen de ese modo a reducir los peligros que entraña una intensificación de la agricultura para el medio ambiente.

Pero lo más importante es quizás que los microbios pueden ayudar al mundo a adoptar un régimen alimenticio más vegetariano, reduciendo con ello la superficie agrícola que se dedica actualmente a la producción de forrajes, con miras a la obtención de alimentos y de energía. Este método de producción de las proteínas monocelulares se puede aplicar a una gran diversidad de materias primas, que van desde la celulosa, que es el principal elemento integrante de la madera, hasta hidratos de carbono como el almidón o incluso los aceites minerales. Cultivando microbios en esas materias, se enriquece su valor nutritivo gracias a la proteína de su propia biomasa y a las vitaminas que produce.

El aprovechamiento de las amplias posibilidades que ofrecen los microbios para la bioconversión proporciona, pues, a la nueva agricultura una gran flexibilidad para elevar al óptimo la utilización de la capacidad agrícola en función de las necesidades nacionales y de la evolución del mercado.

Al establecer la nueva agricultura, se podrán aprovechar las lecciones de las prácticas ancestrales de los países en desarrollo. La utilización de algas microscópicas para obtener alimentos, por ejemplo, no es en realidad nada nuevo. Desde hace siglos, el lago Chad ha proporcionado a la población local un aditivo alimentario proteináceo, consistente en el alga *Spirulina*, y los aztecas comían este mismo tipo de alga con el nombre de "tecuitlate". Todavia hoy, la empresa Sosa Texoco de México produce dos toneladas de *Spirulina* seca al día, que se venden como forraje. Esta misma alga es el principal alimento del pez *Tilapia* y de los flamencos del lago Nakuru y de otros lagos de Africa oriental.

También están suscitando interés los métodos de reaprovechamiento utilizados en las zonas rurales de Asia. En vez de ser prácticas anticuadas, los sistemas de compostado y de aprovechamiento del estiércol humano constituyen modelos para el futuro. Lo mismo cabe decir de los estanques de los pueblos indonesios en los cuales los residuos se convierten en algas que consumen los peces.

En un reciente simposio sobre los alimentos fermentados (Bangkok, 1977), se describieron más de 200 variedades de todo el mundo que, en la mayoría de los casos, habían sido preparadas mediante métodos tradicionales a partir de la soja, el arroz, el ñame, la patata, la yuca, etc. Muchas de ellos —por ejemplo, el *miso* y el *tofu*— se están difundiendo por todo el mundo, como alimentos sucedáneos de la carne ricos en proteínas.

La biotecnología y la tecnología de las enzimas ofrecen perspectivas prometedoras, al paso que la ingeniería genética, aplicada a las plantas, los animales y los microbios, puede suscitar no solamente grandes progresos cuantitativos sino además aumentar las posibilidades de producción de los recursos renovables en una forma cualitativa. Hay ya industrias y empresas de investigación en todo el mundo que estudian uno o más aspectos de este problema. El Consejo Internacional de Uniones Científicas (CIUC) y su Comité Científico sobre los Problemas del Medio Ambiente (SCOPE) han dedicado varios programas a la producción de recursos renovables. En el sistema de las Naciones Unidas, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, conjuntamente con la Unesco y la Organización Internacional de Investigaciones Celulares, emprendió hace unos años un proyecto sobre la explotación de los recursos microbianos, dedicando especial atención al desarrollo rural en los países en desarrollo.

Las ilusiones de hace unos cinco años se están convirtiendo en actividades muy reales de investigación y desarrollo y en aplicaciones prácticas. Habrá que superar todavía muchos obstáculos, pero es evidente que la nueva agricultura integrada está ya en marcha.

J.W.M. La Rivière
E.J. DaSilva



Foto Silvester © Rapho, Paris

Cosechando algas

En el litoral de Portugal (foto), como en el de otros países, las algas se recolectan para utilizarlas como abono para la agricultura. No faltan tampoco las algas marinas dotadas de poder nutritivo.

El hidrógeno es el elemento que más abunda en nuestra galaxia. Por ejemplo, representa cerca del 80 por ciento del volumen del Sol y en la Tierra se lo encuentra en grandes cantidades en el agua de los océanos, en las masas de hielo, en los ríos y lagos, y también en la atmósfera. El hidrógeno es, además, el componente más abundante del gas interestelar. (En la foto, una vista parcial de la constelación de Orión ; la parte más oscura, al centro, es una nube de polvo y gas). Algunos científicos afirman que el hidrógeno está destinado a ser en el futuro el combustible de uso general.



El hidrógeno, combustible limpio e inagotable

por T. Nejat Veziroglu

EN la actualidad son esencialmente los combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas natural, etc.) los que satisfacen la demanda mundial de energía. Estos combustibles poseen características inestimables : su concentración de energía es muy alta y dada la cantidad que de ella contienen son relativamente poco pesados ; es fácil transportarlos y pueden almacenarse, incluso por un tiempo casi ilimitado, sin que ello modifique de manera apreciable sus propiedades. En cambio, su grave desventaja es que no son renovables, es decir, están abocados al agotamiento.

Por su parte, las nuevas fuentes de energía no ofrecen todas las ventajas de los combustibles fósiles, aunque quepa destacar que algunas de ellas, como la energía solar, la nuclear y la termoceánica, existen en cantidades prácticamente ilimitadas. Algunas de ellas sólo pueden obtenerse de manera intermitente : tal es el caso de la energía solar, disponible sólo durante el día y cuando el cielo está despejado. Además, la intensidad de la radiación del sol varía según las estaciones. De ahí la necesidad de almacenar la energía solar para los periodos en que el sol no es visible.

En cambio, aquellas nuevas fuentes de energía de las que se puede disponer de manera continua se encuentran, por lo general, demasiado alejadas de los centros de consumo. Por ejemplo, los lugares más favorables para la obtención de la energía termoceánica se sitúan en las regiones ecuatoriales. En lo que respecta a las instalaciones nucleares, existe la tendencia a construirlas lo más lejos posible de los centros de consumo debido al peligro potencial de radiación que aquellas entrañan.

Ninguna de estas nuevas fuentes de energía, con excepción de la nuclear, es transportable. Y ninguna, con la misma excepción, puede utilizarse como combustible para el transporte ; en efecto, sólo la energía nuclear comienza a emplearse para propulsar algunos buques aunque hasta ahora no sea comercialmente rentable.

Estas limitaciones ponen de relieve la necesidad de un sistema de energía intermediario que establezca una conexión entre las fuentes primarias de energía y los centros de consumo energético. Ese sistema debería constituir un verdadero portador de una energía susceptible de ser transportada y almacenada, cuya producción resulte económica, que sea renovable y, en lo posible, no contaminante.

Por otra parte, ese sistema debe ser independiente de las fuentes primarias de energía a fin de que, cualesquiera que sean las variaciones de éstas, permanezcan intactos los sistemas de almacenamiento y de transmisión así como las instalaciones de transformación que funcionan con el combustible intermediario.

El elemento que más cabalmente reúne todas estas condiciones es el hidrógeno. Este gas abunda en forma de agua en los océanos, los lagos y los ríos. Es el combustible artificial de producción menos costosa en términos de unidades de energía. Prácticamente no es contaminante y, de todos modos, lo es menos que los otros combustibles artificiales como el metano, el metanol o el amoniaco.

El hidrógeno necesario para producir una cantidad dada de energía pesa aproximadamente tres veces menos que cualquiera de los combustibles fósiles. En cambio, su volumen es mayor : casi tres veces y media más que el de la gasolina, por ejemplo, para una misma cantidad de energía. Por lo demás, su poco peso, la velocidad de transmisión de su llama y la amplitud del margen entre sus límites mínimo y máximo de inflamación cuando entra en contacto con el aire (de 4 a 74 por ciento) hacen del hidrógeno un combustible excelente. La alta temperatura a la que se produce su combustión constituye un factor de seguridad y, finalmente, no es tóxico.

Por otra parte, el hidrógeno es un combustible renovable o reaprovechable. Obte-

---

T. Nejat Veziroglu, *especialista turco en energía nuclear, es profesor de ingeniería mecánica en la Universidad de Miami (Estados Unidos) y presidente de la asociación internacional de estudios sobre la energía producida por el hidrógeno. Antes fue profesor en la Universidad Técnica de Oriente Medio, de Ankara (Turquía).*



Foto © USIS, París

nido a partir del agua, se combina con el oxígeno para producir energía ; el producto de su combustión es el vapor de agua que vuelve al suelo en forma de lluvia o de humedad, reconstituyendo así el agua que sirvió inicialmente para su obtención.

El hidrógeno puede obtenerse a partir del agua calentándola a una temperatura suficientemente alta para que la disociación del oxígeno se produzca espontáneamente (método térmico directo), o provocándola mediante reacciones químicas (método termoquímico), o gracias a una corriente eléctrica (electrólisis).

El sistema de energía hidrogénica funcionaría de la siguiente manera. La energía necesaria para disociar los componentes del agua y obtener el hidrógeno la suministraría una central nuclear (situada, por razones de seguridad, en un lugar distante) o un horno solar (construido allí donde pueda utilizarse de manera óptima la radiación del sol) o cualquiera otra de las nuevas fuentes de energía. El hidrógeno así obtenido sería transportado por medio de tuberías o de buques cisterna a los centros de consumo donde se utilizaría en sustitución de los combustibles fósiles actualmente empleados. En cuanto al oxígeno restante puede ser difundido en la atmósfera o transportado a los centros industriales y urbanos de igual manera que el hidrógeno ; allí sería utilizado con propósitos industriales o para regenerar las aguas contaminadas de los ríos y los lagos o bien para acelerar el tratamiento de las aguas negras.

El hidrógeno es un vehículo sobremanera eficaz para el transporte de energía. Cuando se trata de distancias que exceden de 300 kilómetros resulta mucho más económico transmitir energía en forma de hidrógeno por medio de tuberías que electricidad por medio de cables aéreos. Además, las tuberías están gravadas con derechos de paso insignificantes y no ocupan espacio en la superficie del suelo.

Pero esto no es todo. A diferencia de la electricidad, el hidrógeno puede ser almacenado. De ahí que en el nuevo sistema de energía se haya previsto que el hidrógeno se transmita desde las instalaciones donde se lo produce o desde los puertos a donde se transporta hasta los centros industriales y las aglomeraciones urbanas por medio de tuberías subterráneas. Allí se lo emplearía directamente en los procesos industriales que requieren calor y para la calefacción y otros usos domésticos, como la cocina.

La combustión del hidrógeno produce, de manera limpia y eficaz, vapor de agua que se utiliza en muchas industrias como la química y la papelera. También puede substituir al carbón en la siderurgia, con incalculables ventajas para el medio ambiente. Las necesidades de electricidad de la industria, de los edificios públicos y de los alojamientos humanos pueden satisfacerse mediante el sistema de células o pilas energéticas en las cuales la energía producida por la combustión del oxígeno y el hidrógeno combinados se convierte directamente en energía eléctrica. Actualmente, el rendimiento de esta conversión es del 60 al 70 por ciento y se espera que gracias a los nuevos trabajos de investigación pueda incrementarse.

Por el momento el hidrógeno es tres o cuatro veces más caro que los combustibles fósiles. Sin embargo los estudios e investigaciones en curso permiten prever que su coste disminuirá en el futuro mientras que el de los combustibles fósiles aumentará a medida que vayan escaseando y aun agotándose. Es, pues, probable que a comienzos del siglo XXI el precio de producción de uno y otros sea más o menos el mismo.

Numerosos científicos e ingenieros consideran que el sistema de energía hidrogénica constituye, tanto desde el punto de vista económico como ecológico, la mejor conexión entre las nuevas fuentes de energía y sus consumidores. Bien haría el mundo entero en adoptar cuanto antes la energía del hidrógeno, limpia y renovable. Ello permitiría proteger el medio y mejorar la calidad de la vida. Y una vez que se establezca ese nuevo sistema, jamás será necesario sustituirlo por otro.

T. Nejat Veziroglu

LATITUDES Y LONGITUDES

Libros recibidos

☐ **Los convidados de piedra**
por Jorge Edwards
Seix Barral, Barcelona, 1978

☐ **El público**
y Comedia sin título
(Dos obras teatrales póstumas)
por Federico García Lorca
Seix Barral, Barcelona, 1978

☐ **Juntacadáveres**
por Juan Carlos Onetti
Seix Barral, Barcelona, 1978

☐ **La lírica en la Edad Media**
por Peter Dronke
Seix Barral, Barcelona, 1978

☐ **Epica árabe y épica castellana**
por Alvaro Gelmés de Fuentes
Editorial Ariel, Barcelona, 1978

☐ **Lenguaje e historia**
por Emilio Lledó
Editorial Ariel, Barcelona, 1978

☐ **Diccionario social del trabajo**
por Ezequiel Ander-Egg
Nova Terra, Barcelona, 1978

☐ **Pablo Casals. Homenaje**
en el centenario de su nacimiento
por Federico Sopeña Ibáñez
Comisión Nacional Española de Cooperación con la Unesco, Madrid 1978

☐ **Pepita Jiménez**
por Juan Valera
Taurus Ediciones, Madrid, 1978

☐ **La confabulación de la palabra**
por Saúl Yurkievich
Taurus Ediciones, Madrid, 1978

☐ **Ciencia de la Lógica**
y Lógica del sueño
por Víctor Gómez Pin
Taurus Ediciones, Madrid, 1978

☐ **Tiempo de sombras**
por Virgilio Botella Pastor
Argos-Vergara, Barcelona, 1978

☐ **El juego de abalorios**
por Hermann Hesse
Alianza Editorial, Madrid, 1978

☐ **Santiago el fatalista**
por Denis Diderot
Alianza Editorial, Madrid, 1978

☐ **Escritos de filosofía política**
por Mijail Bakunin
Compilación de G.P. Maximov
(Dos volúmenes)
Alianza Editorial, Madrid, 1978

☐ **René Leys**
por Victor Segalen
Alianza Editorial, Madrid, 1978

☐ **Técnicas de persuasión**
por J.A.C. Brown
Alianza Editorial, Madrid, 1978

☐ **Constelaciones y conjeturas**
por N. Russell Hanson
Alianza Editorial, Madrid, 1978

☐ **El mundo micénico**
por John Chadwick
Alianza Editorial, Madrid, 1978

El libro en el Brasil

Del 11 al 20 de agosto de 1978 se celebrará la V Bienal Internacional del Libro, organizada por la Cámara Brasileña del Libro, en São Paulo, en un edificio construido por el célebre arquitecto Oscar Niemeyer. En una superficie total de 30.000 metros cuadrados —sin contar los puestos de exposición de más de 700 editores del mundo entero— se realizarán coloquios, seminarios, conferencias y otras actividades culturales. A la anterior Bienal Internacional acudieron más de 200.000 visitantes.

China participará en un programa meteorológico internacional

La República Popular de China ha aceptado participar oficialmente en la Primera Experiencia Mundial del Programa Global de Investigaciones Atmosféricas (GARP) que la Organización Meteorológica Mundial va a iniciar el 1° de diciembre de 1978 y que durará un año. Todos los Estados miembros de la OMM aportarán su contribución a este programa científico sin precedentes en el que se emplearán todos los medios de observación disponibles : satélites, aeronaves, boyas oceánicas, etc. La participación de la República Popular de China —que pondrá a disposición del GARP sus buques científicos— es sumamente importante dada la gran extensión de su territorio.

La viruela vencida

En cumplimiento de una resolución aprobada por la Organización Mundial de la Salud en su 31ª Asamblea General celebrada en Ginebra, la OMS ofrece la suma de mil dólares a cualquier persona que señale a su atención un caso de viruela en cualquier lugar del mundo. El último caso confirmado se observó en Merca, Somalia, en octubre de 1977. Si nadie reclama esa recompensa, podrá proclamarse la erradicación total de la viruela en el mundo entero en mayo de 1980. Hasta entonces la OMS continuará su programa especial, iniciado en 1967, al que los Países Bajos acaban de hacer una contribución de 1.840.000 dólares. Es el 44° país que participa financieramente en esta campaña internacional.

Las Naciones Unidas y Namibia



La Administración Postal de las Naciones Unidas acaba de emitir una serie de sellos de correo sobre el tema "Namibia : liberación, justicia, cooperación." La ONU viene llevando a cabo una campaña internacional para que se ponga fin a la ocupación ilegal de Namibia por Sudáfrica y, en cooperación con la Unesco, ayuda a preparar la independencia de Namibia y a formar al personal administrativo que habrá de necesitar el nuevo Estado.

La lucha contra la langosta

Los servicios especiales de protección de los países costeros del Mar Rojo y del golfo de Adén se encuentran en estado de alerta : los saltamontes o langostas que habían desaparecido casi totalmente de la región desde hace 16 años han vuelto a aparecer en espesas nubes y se teme que se dirijan hacia Sudán o Kenia. La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) ha enviado inmediatamente insecticidas y otros materiales, por valor de 800.000 dólares, en el marco de su programa de lucha contra los acrídidos.

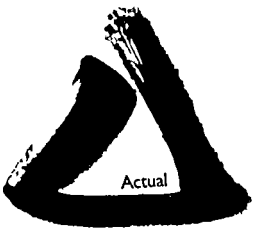
Medalla de la Unesco sobre la "República de los guaraníes"



La Unesco acaba de emitir una medalla en apoyo del proyecto internacional para salvar los monumentos de la que fuera "República de los guaraníes" y fomentar el turismo en la región que entre Paraguay, Argentina, Brasil y Uruguay ocuparon las reducciones jesuíticas. Esos países, juntamente con la Unesco, están restaurando y protegiendo los edificios que se alzaron a lo largo del Camino de los Jesuitas entre el año 1600 y mediados del siglo XVIII, y proyectan crear museos en los que se exhibirán objetos de arte producidos por las comunidades indígenas de esas misiones. El anverso de la medalla muestra una campana de una iglesia del siglo XVIII (que actualmente se conserva en el Museo Histórico Provincial de Rosario, en Argentina) y lleva la inscripción ORBIS GUARANITICUS (El mundo de los guaraníes) —UNESCO 1978. En el reverso se reproduce la figura de un ángel con unas maracas de una iglesia de Trinidad, Paraguay. Esta medalla viene a sumarse a la serie que la Unesco ha emitido en pro de su campaña internacional para salvar monumentos y sitios históricos y artísticos importantes, como Mohenjo Daro, Venecia, Filae, Cartago, Borobudur y la Acrópolis de Atenas, o para conmemorar el nacimiento de hombres ilustres, como Miguel Angel, Rubens y Aristóteles. Los precios de la medalla —que también puede llevarse como collar— son los siguientes : en oro, 500 francos franceses y 550 con la cadena ; en plata, 150 y 160 ; en bronce, 65 y 75. El estuche con la serie de tres cuesta 750. Los pedidos deben dirigirse a : Servicio Filatélico de la Unesco, Place de Fontenoy, 75700 París.

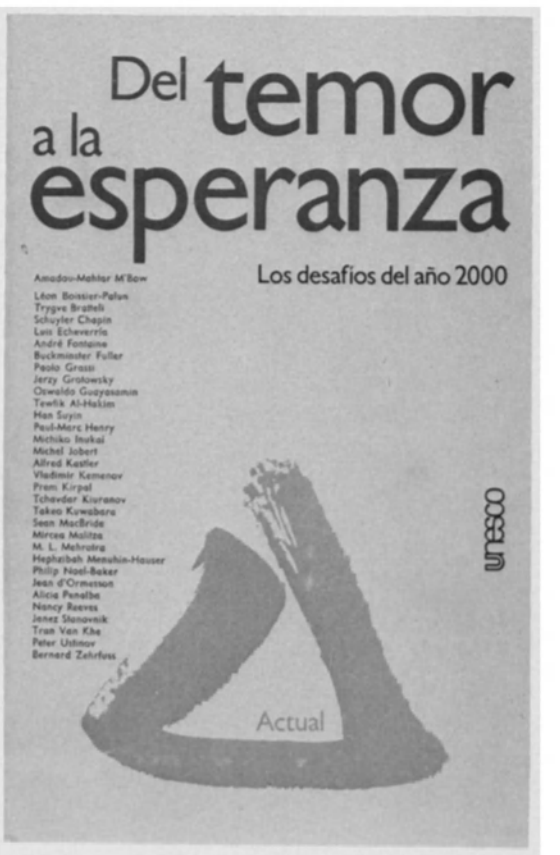
BRODARD GRAPHIQUE. COULOMMIERS – Dépôt legal C 1 – Juin 1978 IMPRIME EN FRANCE (Printed in France)

¡ Una nueva colección de la Unesco !



Acaba de aparecer DEL TEMOR A LA ESPERANZA : LOS DESAFIOS DEL AÑO 2000, primer título de la COLECCION ACTUAL, en la que la Unesco se propone tratar de los grandes temas de nuestro tiempo.

- Este primer título, con que se inicia la colección, tiene su origen en los debates de una mesa redonda sobre los desafíos del año 2000.
- La envergadura y transcendencia del tema no podía menos que suscitar reacciones muy complejas en diversos niveles : económico, social, cultural, ético, etc., dado que los problemas examinados resultan estrechamente solidarios en función misma del orden (o del desorden) característico de nuestro mundo en este último cuarto de siglo.
- Dada la riqueza misma de las intervenciones, la obra se ha ordenado en cuatro secciones orgánicas : El hombre, juguete o señor de sus obras ; El hombre contra los poderes ; Hacia un nuevo contrato social ; Conquista y reconquista de la cultura.



1978, 24 × 15 cm, 222 páginas
ISBN 92-3-301534-3
Precio : 38 francos franceses

Para renovar su suscripción
y pedir otras publicaciones de la Unesco

Pueden pedirse las publicaciones de la Unesco en las librerías o directamente al agente general de la Organización. Los nombres de los agentes que no figuren en esta lista se comunicarán al que los pida por escrito. Los pagos pueden efectuarse en la moneda de cada país.

ANTILLAS HOLANDESAS. C.G.T. Van Dorp & C°. (Ned. Ant.) N.V. Willemstad, Curaçao. — **ARGENTINA.** EDILYR S.R.L., Tucumán 1699 (P.B."A".), 1050, Buenos Aires. — **REP. FED. DE ALEMANIA.** Todas las publicaciones : S. Karger GmbH, Karger Buchhandlung, Angerhofstr. 9, Postfach 2, 8034 Germering / Munchen. Para "UNESCO KURIER" (edición alemana) únicamente : Colmantstrasse 22, 5300 Bonn. — **BOLIVIA.** Los Amigos del Libro, casilla postal 4415, La Paz ; Perú 3712 (Esq. España), casilla postal 450, Cochabamba. — **BRASIL.** Fundaçao Getúlio Vargas, Editora-Divisao de Vendas, caixa postal 9.052-ZC-02, Praia de Botafogo 188, Rio de Janeiro, R.J. (CEP. 20000). — **COLOMBIA.** J. Germán Rodriguez N., calle 17, No. 6-59, apartado aéro 463 Girardot,Cundinamarca ; Editorial Losada, calle 18 A, No. 7-37, apartado aéreo 5829, Bogotá, y sucursales ; Edificio La Ceiba, oficina 804, calle 52, N° 47-28, Medellín.— **COSTA RICA.** Librería Trejos S.A., apartado 1313, San José. — **CUBA.** Instituto Cubano del Libro, Centro de Importación, Obispo 461, La Habana. — **CHILE.** Bibliocentro Ltda., Constitucion n° 7, Casilla 13731, Constitución N° 7, Santiago (21). **REPUBLICA DOMINICANA.** Librería Blasco, Avenida Bolívar, No. 402, esq. Hermanos Deligne, Santo Domingo. — **ECUADOR.** RAYD de publicaciones, Garcia 420 y 6 Diciembre, casilla 3853, Quito ; Casa de la Cultura Ecuatoriana, Núcleo del Guayas, Pedro Moncayo y 9 de Octubre, casilla de correos 3542, Guayaquil. — **EL SALVADOR.** Librería Cultural Salvadoreña, S.A., Calle Delgado No. 117, apartado postal 2296, San Salvador. — **ESPANA.** MUNDI-PRENSA LIBROS S.A., Castelló 37, Madrid 1 ;Ediciones LIBER, Apartado 17, Magdalena 8, Ondárroa (Vizcaya) ; DONAIRE, Ronda de Outeiro, 20, apartado de correos 341, La Coruña ; Librería AL-ANDALUS, Roldana, 1 y 3, Sevilla 4 ; LITEXSA, Librería Técnica Extranjera, Tuset, 8-10 (Edificio Monitor),Barcelona. — **ESTADOS UNIDOS DE AMERICA.** Unipub, P.O. Box 433, Murray Hill Station, Nueva York, N.Y. 10016. Para "El Correo de la Unesco" : Santillana Publishing Company Inc., 575 Lexington Avenue, Nueva York, N.Y. 10022. — **FILIPINAS.** The Modern Book Co., 926 Rizal Avenue, P.O. Box 632, Manila, D-404. — **FRANCIA.** Librairie de l'Unesco, 7, place de Fontenoy, 75700 Paris (CCP Paris 12,598-48). — **GUATEMALA.** Comisión Guatemalteca de Cooperación con la Unesco, 3a Avenida 13-30, Zona 1, apartado postal 244, Guatemala. — **HONDURAS.** Librería Navarro, 2ª Avenida N° 201, Comayaguela, Tegucigalpa. — **JAMAICA.** Sangster's Book Stores Ltd., P.O. Box 366 ; 101 Water Lane, Kingston. — **MARRUECOS.** Librairie "Aux Belles Images", 281, avenue Mohammed V, Rabat ; "El Correo de la Unesco" para el personal docente : Comisión Marroquí para la Unesco, 20, Zenkat Mourabitine, Rabat (C.C.P. 324-45). — **MEXICO.** SABSA, Insurgentes Sur, No. 1032-401, México 12, D.F. — **MOZAMBIQUE.** Instituto Nacional do livro e do Disco (INLD), Avenida 24 de Julho, 1921, r/c e 1° andar, Maputo. — **PANAMA.** Empresa de Distribuciones Comerciales S.A. (EDICO), Apartado postal 4456, Panamá Zona 5. — **PARAGUAY.** Agencia de Diarios y Revistas, Sra. Nelly de García Astillero, Pte. Franco 580, Asunción. — **PERU.** Editorial Losada Peruana, Jirón Contumaza 1050, apartado 472, Lima. — **PORTUGAL.** Dias & Andrade Ltda., Livraria Portugal, rua do Carmo 70, Lisboa. — **REINO UNIDO.** H.M. Stationery Office, P.O. Box 569, Londres S.E. 1. — **URUGUAY.** Editorial Losada Uruguay, S.A., Maldonado 1092, Montevideo. — **VENEZUELA.** Librería del Este, Av. Francisco de Miranda 52,Edificio Galipán, apartado 60337, Caracas ; La Muralla Distribuciones, S.A., 4a. Avenida de los Palos Grandes, entre 3a. y 4a. transversal, Quinta "IRENALIS", Caracas 106.

Las fraguas de Vulcano

el calor de las profundidades de la Tierra en forma de fuentes de agua caliente, de géiseres o de erupciones de lava incandescente. (En la foto, la erupción de principios de 1973 del Eldfell, cerca de la ciudad de Heimaey). La energía geotérmica, explotada ya en Islandia, Nueva Zelandia y otros lugares —ya sea en forma de agua o de vapor natural utilizados para la producción de energía eléctrica o para la calefacción doméstica— es actualmente objeto de estudios e investigaciones con miras a su utilización en mayor escala, por medio de perforaciones artificiales terrestres u oceánicas (véase el artículo de la página 24).



Foto Vulcain © Explorer, París