



NUEVAS FUENTES DE ENERGIA Y APROVECHAMIENTO DE LA ENERGIA

**INFORME SOBRE LA CONFERENCIA DE LAS NACIONES UNIDAS
SOBRE NUEVAS FUENTES DE ENERGIA**

Energía solar - Energía Eólica - Energía geotérmica

Roma, del 21 al 31 de agosto de 1961

NACIONES UNIDAS

NUEVAS FUENTES DE ENERGIA Y APROVECHAMIENTO DE LA ENERGIA

INFORME SOBRE LA CONFERENCIA DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE NUEVAS FUENTES DE ENERGIA

Energía solar - Energía eólica - Energía geotérmica

Roma, del 21 al 31 de agosto de 1961



NACIONES UNIDAS

Nueva York, 1962

E/3577/Rev.1 ST/ECA/72

1962

PUBLICACION DE LAS NACIONES UNIDAS

No. de venta : 62. I. 21

Precio : \$ 0,75 ; 5 chelines ; 3 francos suizos
(o su equivalente en la moneda del país)

PREFACIO

La Conferencia de las Naciones Unidas sobre Nuevas Fuentes de Energía se celebró en Roma del 21 al 31 de agosto de 1961, de conformidad con las resoluciones del Consejo Económico y Social y a invitación del Gobierno de Italia. La Conferencia tuvo efecto en el edificio de la sede de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

Al aprobar las medidas propuestas para la celebración de la Conferencia, el Consejo, en su resolución 779 (XXX), pidió al Secretario General que le informara, en su 33.º período de sesiones, acerca de las deliberaciones y resultados de la misma. El presente informe, que lleva por título *Nuevas fuentes de energía y aprovechamiento de la energía*, ha sido redactado en cumplimiento de dicha resolución.

El informe se halla dividido en dos partes:

En la primera, se reseñan sucintamente los antecedentes de la Conferencia y las disposiciones tomadas para llevarla a efecto (capítulo 1) y se resumen sus deliberaciones (capítulo 2); asimismo, en el capítulo 3 se resumen los resultados que puede aportar la Conferencia y se destacan las medidas previstas, tanto en el plano internacional como en otras esferas.

La segunda parte contiene otras informaciones de carácter más técnico. Incluye una síntesis sistemática de los trabajos presentados en la Conferencia y de las discusiones habidas en torno a éstos. Tras una información general de fondo acerca de las nuevas fuentes, pasa a tratar de la energía geotérmica, la energía eólica y la energía solar respectivamente.

Los anexos contienen el programa, una lista de presidentes y relatores, la lista de los participantes inscritos, y la relación de los trabajos presentados, con los nombres de sus autores.

Próximamente se imprimirá la documentación completa de la Conferencia, que consta de 250 trabajos distintos y de los informes y resúmenes generales de veinte relatores. Estos documentos se publicarán en volúmenes separados. El primero de ellos contendrá los relativos a las nuevas fuentes de energía y al aprovechamiento de la energía, así como a la utilización conjunta de diversas fuentes de energía y a los problemas que plantea el almacenamiento de la misma; los volúmenes posteriores contendrán los trabajos sobre energía geotérmica, energía solar y energía eólica.

NOTAS EXPLICATIVAS

Las firmas de los documentos de las Naciones Unidas se componen de letras mayúsculas y cifras. La mención de una de tales firmas indica que se hace referencia a un documento de las Naciones Unidas.

En todo el presente informe, la palabra “toneladas” indica toneladas métricas, y la palabra “dólares”, dólares de los Estados Unidos, salvo que se indique otra cosa.

Las denominaciones empleadas en esta publicación y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene, no implican que la Secretaría de las Naciones Unidas emite un juicio sobre la condición jurídica de ninguno de los países o territorios citados o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras.

INDICE

Parte I

<i>Capítulo</i>	<i>Página</i>
1. Antecedentes de la Conferencia y disposiciones respectivas	3
2. Reseña general de las deliberaciones	5
3. Resultados que puede aportar la Conferencia	14

Parte II

Introducción	19
Energía geotérmica	24
Energía eólica	33
Energía solar	40
Uso conjunto de diversas fuentes de energía y problemas de almacenamiento de la energía	56

Anexos

1. Programa	61
2. Presidentes y Relatores	63
3. Registro de participantes en la Conferencia	64
4. Lista de los trabajos presentados en la Conferencia	65
5. Indice, por firmas, de los trabajos presentados en la Conferencia	71

PARTE I

Capítulo I

ANTECEDENTES DE LA CONFERENCIA Y DISPOSICIONES RESPECTIVAS

Los antecedentes oficiales de la Conferencia datan del 4 de mayo de 1956, fecha en que el Consejo Económico y Social recomendó que las Naciones Unidas se interesaran por igual "en todas las nuevas fuentes de energía", como lo habían hecho con respecto a las fuentes de energía usuales y con respecto a la energía atómica (que fue objeto de otra resolución aprobada en la misma fecha). En su resolución 598 (XXI), el Consejo pidió al Secretario General que presentara un informe sobre las posibilidades de aprovechamiento práctico de fuentes de energía tales como la energía solar, la energía eólica y la energía geotérmica.

En virtud de esta resolución, el Secretario General presentó un estudio titulado *Nuevas fuentes de energía y desarrollo económico*¹, que fue preparado con el concurso de cinco especialistas eminentes. En su resolución 653 III (XXIV) del 26 de julio de 1957, el Consejo pidió que se preparara un informe sobre los nuevos hechos que se hubieran producido en estos campos de actividad "así como recomendaciones acerca (de)... una conferencia internacional sobre las nuevas fuentes de energía distintas del átomo y sobre sus aplicaciones económicas, que habría de reunirse lo antes posible".

Después de examinar dicho informe², el Consejo pidió al Secretario General, en su resolución 710 A (XXVII) del 17 de abril de 1959, que adoptara las medidas necesarias para la convocación en 1961 de una conferencia de las Naciones Unidas sobre energía solar, energía eólica y energía geotérmica, consideradas particularmente desde el punto de vista de sus aplicaciones en los países menos desarrollados.

A fin de preparar esta Conferencia, se celebraron durante 1960 tres reuniones de expertos en energía solar, energía eólica y energía geotérmica, en Madrid (del 23 al 28 de mayo), Grenoble (del 14 al 17 de junio) y Roma (del 27 de junio al 2 de julio); en ellas se formuló el programa definitivo, así como una serie de indicaciones concretas para la presentación de los trabajos. El 3 de agosto de 1960, el Consejo, en su resolución 779 (XXX), aprobó las

medidas propuestas para que la Conferencia se celebrara del 21 al 31 de agosto de 1961 y aceptó agradecer el ofrecimiento del Gobierno de Italia de actuar como país invitante.

Se procedió a establecer la secretaría de la Conferencia adscrita a las Naciones Unidas, y se nombró Secretario Ejecutivo al Sr. A. G. Katzin. En octubre de 1960 se publicó un boletín informativo³ con los antecedentes del caso, el programa de la Conferencia, el método que se seguiría en ella, y las indicaciones concretas para orientación de los participantes. Las invitaciones para la presentación de trabajos y para asistir a la Conferencia fueron enviadas de acuerdo con las listas extendidas en las reuniones preparatorias de expertos y con las designaciones hechas por los gobiernos de los Estados Miembros, así como por diversas organizaciones⁴.

De los muchos trabajos presentados, se aceptaron exactamente 250 que abarcaban todos los temas del programa aprobado por el Consejo y representaban la experiencia de participantes procedentes de veintinueve países⁵. Los participantes inscritos fueron 447, representativos de una gran variedad de disciplinas profesionales y de organizaciones diversas, y procedentes de setenta y cuatro

³ Documento E/CONF.35/1, impreso en inglés, en francés y en español.

⁴ Aunque algunas de las invitaciones fueron enviadas sobre la base de las recomendaciones hechas por los gobiernos de Estados Miembros, se subrayó que todos los participantes, inclusive los que presentaran trabajos (no todos los cuales pudieron asistir), habían de concurrir con carácter particular y personal, y no como representantes de sus respectivos países.

⁵ Por países de origen, estos trabajos se dividen del siguiente modo: Australia 5, Bélgica 1, Brasil 2, Canadá 2, Chile 1, Dinamarca 6, El Salvador 3, España 3, Estados Unidos 57, Francia 31, Grecia 1, Hungría 1, India 9, Islandia 9, Israel 8, Italia 24, Japón 16, México 1, Nueva Zelandia 29, Países Bajos 4, Portugal 1, Reino Unido 10, República Árabe Unida 6, República Federal de Alemania 6, Sudáfrica 1, Suecia 1, Suiza 1, Unión Soviética 4, y Uruguay 2; de los cinco trabajos restantes, tres fueron preparados en colaboración por autores de Australia y Estados Unidos, Bélgica y Grecia, e India y Estados Unidos, respectivamente, uno por la Organización para la Agricultura y la Alimentación, y el otro por la Organización Meteorológica Mundial. En esta distribución puede apreciarse el predominio de Islandia, Italia y Nueva Zelandia en el desarrollo de la energía geotérmica, de Dinamarca en el uso de la energía eólica, y de Francia y los Estados Unidos en materia de energía solar. En los anexos 4 y 5 figuran las listas de trabajos.

¹ Publicación de las Naciones Unidas, No. de venta: 57.II.B.1.

² *Documentos Oficiales del Consejo Económico y Social*, 27.º período de sesiones, Anexos, tema 5 del programa, documento E/3218.

países y territorios de todo el mundo⁶. También estuvieron representados en la Conferencia algunos organismos especializados de las Naciones Unidas, tales como la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO), la Oficina Internacional del Trabajo (OIT), la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), la Organización Mundial de la Salud (OMS), y la Organización Meteorológica Mundial (OMM), así como el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Además, fueron inscritos 267 visitantes que acompañaban a los participantes, y acreditados ante la Conferencia unos 30 corresponsales de prensa⁷.

Como quiera que la Conferencia tenía por primordial interés las necesidades de las regiones menos desarrolladas del mundo, cabe señalar que casi un tercio de los participantes procedían de países que suele incluirse en esa categoría. Dado el interés especial que había en que participasen los países menos desarrollados, y la necesidad de prestar ayuda para que tanto los autores de trabajos como otras personas asistiesen a la Conferencia, se otorgaron becas de asistencia técnica de las Naciones Unidas, a solicitud de los respectivos gobiernos, a 47 participantes procedentes de 32 países o territorios.

La Conferencia se ciñó estrictamente al programa original que había aprobado el Consejo⁸. Tras una sesión general preliminar sobre nuevas fuentes de energía y aprovechamiento de la energía, las deliberaciones prosiguieron en dos series paralelas de sesiones técnicas. Se dedicó básicamente una serie de nueve sesiones a la utilización de la energía geotérmica, la energía eólica y la energía solar para la producción de fuerza, inclusión hecha de una reunión en la que se trató de la utilización combinada de diversas fuentes de energía y de los problemas de almacenamiento de ésta. La otra serie comprendió siete sesiones sobre el uso de la energía solar con fines distintos de la producción de energía. Los debates de estas sesiones técnicas fueron recapitulados y resumidos en cuatro sesiones plenarias⁹. La Conferencia fue inaugurada por el Sr. Phi-

lippe de Seynes, Subsecretario de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas, en nombre del Secretario General. Su Excelencia el Sr. Egidio Ortona, Director General del Departamento de Asuntos Económicos del Ministerio de Relaciones Exteriores de Italia, representó al Gobierno invitante y presidió la sesión de apertura. La sesión general y la sesión de clausura fueron presididas respectivamente por Sir Vincent de Ferranti, Presidente del Consejo Ejecutivo Internacional de la Conferencia Mundial de la Energía, y el Sr. David Owen, Presidente Ejecutivo de la Junta de Asistencia Técnica de las Naciones Unidas.

Se nombraron 21 presidentes y 17 relatores¹⁰ que desempeñaron sus funciones con gran acierto. A fin de reservar el mayor tiempo posible a las intervenciones de los participantes dentro del límite de tres horas asignado a cada sesión, los distintos trabajos habían sido distribuidos con anticipación y no fueron presentados oficialmente por sus autores. Los relatores introdujeron las diversas materias refiriéndose brevemente al contenido de los trabajos y sugiriendo temas de discusión. En las sesiones plenarias los relatores presentaron resúmenes de los debates, dedicando especial atención a las aplicaciones prácticas que pudieran beneficiar a los países menos desarrollados. Finalmente, los presidentes de las diversas sesiones destacaron las principales conclusiones de la Conferencia en la sesión de clausura.

El Gobierno de Italia organizó actos especiales en honor de los participantes durante la celebración de la Conferencia. Entre ellos figuró una audiencia con Su Santidad el Papa Juan XXIII en Castel Gandolfo el 28 de agosto, en la cual discurrió el Sumo Pontífice sobre las nuevas fuentes de energía en relación con el desarrollo económico y el bienestar social.

Por invitación de la empresa Larderello, se organizó una visita a las instalaciones geotérmicas que tiene dicha empresa en la región del mismo nombre, en Toscana. Más de 200 participantes se valieron de esta oportunidad para observar estas modernas centrales que tienen una capacidad neta de unos 300.000 kilovatios, obtenida enteramente mediante el aprovechamiento del vapor natural. El Laboratorio Nacional de Física de Israel, por su parte, exhibió en las afueras de Roma un tipo original de generador solar, con una capacidad de cinco caballos de fuerza. Fue objeto de otra excursión a la que asistieron más de 300 participantes y despertó mucho interés por considerárselo como un avance significativo hacia el objetivo de llevar energía solar efectiva en pequeña escala a las regiones menos desarrolladas. Además, en el local en que se celebró la Conferencia se exhibieron algunos modelos de demostración y varios cuadros gráficos que ilustraban el uso de las nuevas fuentes de energía.

⁶ En la Conferencia figuraron 50 participantes de África (inclusive 11 de Argelia), 61 de Asia, incluido el Oriente Medio, y 24 de América Central y América del Sur. De Australasia acudieron 10, de América del Norte 67, y de Europa 219. (Véase el anexo 3 para la distribución de asistentes por países de origen.)

⁷ Se dieron noticias de la Conferencia en artículos periodísticos y por otros medios informativos en casi todo el mundo. En diversas publicaciones aparecieron artículos más técnicos, a menudo escritos por algunos participantes. Los miembros de la Conferencia y los corresponsales recibieron información completa a través de una publicación titulada "The Daily Energy" y de una serie de comunicados de prensa.

⁸ Véase en el anexo 1 el programa de la Conferencia.

⁹ En todas las sesiones se prestó servicio de interpretación simultánea recíproca en inglés, francés, ruso, y en el idioma del país invitante, o sea italiano, y en las sesiones técnicas se hizo uso de elementos auxiliares visuales. En cambio no hubo actas taquigráficas ni resumidas, disponiéndose únicamente de las grabaciones magnetofónicas.

¹⁰ Véase el Anexo 2.

Capítulo 2

RESEÑA GENERAL DE LAS DELIBERACIONES

Los apuntes de la Conferencia reflejan los objetivos de la misma, a saber: intercambio de ideas y conocimientos sobre las aplicaciones de la energía solar, de la energía eólica y de la energía geotérmica; estudio de cómo dar mayor difusión a las diversas técnicas, particularmente para beneficiar a las regiones menos desarrolladas; suministro de la información más reciente de que se disponga sobre los progresos realizados y las posibilidades y limitaciones del uso de esas tres fuentes de energía, especialmente en las regiones que carecen de las fuentes usuales o donde el costo de la energía es muy elevado ¹.

USO DE LAS NUEVAS FUENTES DE ENERGÍA EN DIFERENTES CONDICIONES DE DISPONIBILIDAD

Las hipótesis fundamentales y el marco en que habían de encuadrarse los debates quedaron expuestos en la sesión de apertura y en la primera sesión general, que establecieron la pauta que habría de seguirse en cuanto al alcance y estudio de los temas. Se señaló que la disponibilidad de energía en muchas formas diferentes es requisito previo del desarrollo económico, y que al satisfacer las necesidades de energía es preciso distinguir cuidadosamente entre las diferentes fuentes de ésta según sus características especiales, comparadas entre sí, y en relación con la estructura socio-económica en que hayan de aprovecharse. Por ejemplo, al considerar las fuentes no usuales de energía y sus posibilidades de aprovechamiento, es preciso tener en cuenta las demás fuentes de energía y el estado del desarrollo económico dentro de cada región y país o grupo de países.

Entre otros antecedentes de interés, se señaló que el actual consumo mundial de energía, tan sólo para usos comerciales, equivale aproximadamente a unos 4.000 millones de toneladas de carbón anuales. No se incluyen en este total los residuos agrícolas, la madera y otras fuentes "no comerciales" (que constituyen un 15% adicional), los cuales representan hasta la mitad del consumo de energía de los continentes menos desarrollados. Se previó que en lo que queda de siglo se cuadruplicará la cifra total. Se demostró que el consumo

de energía per cápita varía notablemente en todo el mundo, guardando bastante relación con el ingreso medio, lo que constituye otro indicio de la función indispensable de la energía en el desarrollo económico. Pero el reducido promedio de consumo de los países que están en vías de desarrollo oculta otras disparidades entre las grandes zonas urbanas y las rurales, donde unos 2.000 millones de personas — las dos terceras partes de la población mundial — viven sin electricidad y a menudo no hacen más que subsistir.

Por ello se dedicó especial atención a distintas situaciones en materia de energía que, en los países insuficientemente desarrollados, podrían clasificarse en tres categorías: las raras zonas donde existe una red de distribución para conectar entre sí las centrales eléctricas en los centros industriales y urbanos y que cuentan con suficiente capacidad interconectada para garantizar la continuidad del suministro dentro de un sector limitado, frecuentemente a un nivel comparable al de los países desarrollados; las zonas donde algunas centrales eléctricas aisladas satisfacen, por lo menos en parte, las necesidades más apremiantes de energía; y las zonas en que se carece por completo de electricidad, que son las que más abundan. Esta división en tres categorías subsistió durante toda la Conferencia y fue de gran utilidad al estudiar y evaluar las nuevas fuentes, no sólo para la producción de fuerza, sino también, hasta cierto punto, para el aprovechamiento de la energía con otros fines.

En términos generales, se llegó a la conclusión de que por lo que respecta a las zonas de la primera categoría, o sea aquellas que cuentan con redes de distribución y un buen suministro de energía, la energía eólica y la energía solar pueden carecer de interés, a no ser que un estudio de los costos demuestre que ambas podrían suministrar electricidad y otras formas útiles de energía a precios más bajos. De contarse con energía geotérmica, ésta podría resultar mucho más económica que ninguna otra.

En las zonas de la segunda categoría — que suelen caracterizarse por costos muy elevados de combustible y producción — la energía solar y la energía eólica bien podrían constituir útiles fuentes suplementarias que permitirían ahorrar combustible, en tanto que la energía geotérmica, si la hubiere y fuese explotable, proporcionaría energía barata.

¹ Para una exposición de los aspectos más técnicos de la Conferencia y para más detalles, véase el compendio y síntesis sustantivos de la parte II.

En muchas de las zonas de la tercera categoría, que son decididamente las que más abundan en los países insuficientemente desarrollados y en las que no podrá contarse hasta dentro de mucho tiempo con las ventajas de la electrificación en gran escala en el campo y en las aldeas, la energía eólica o la energía solar ofrecen la única perspectiva de disponer de una fuente de fuerza. Y ambas podrían pasar a ser factores importantes para elevar el nivel de vida y acelerar el desarrollo económico, suministrando energía para las telecomunicaciones, la conservación de alimentos perecederos, la elevación de agua y las industrias sencillas de elaboración y fabricación.

A este respecto, y particularmente en relación con las muchas aplicaciones posibles de la energía solar, se señaló que en lo tocante a ciertos objetivos generales de índole social, las nuevas fuentes no se hallan limitadas por la consideración de su viabilidad económica, tal como ésta se entiende en las sociedades industriales avanzadas. Tampoco se estimó necesario que el desarrollo de la energía hubiese de seguir el mismo curso que ha seguido en los países industriales. De lo que se trata es de si no ha de proporcionarse ninguna energía en absoluto o si ha de proporcionársela, aunque sea en forma imperfecta y limitada, para crear trabajo útil y esfuerzo productivo, tanto desde el punto de vista social como desde el punto de vista económico.

Se hizo constar con toda claridad que las nuevas fuentes de energía no constituyen ninguna panacea y que se caracterizan por ciertas limitaciones propias de sus respectivas ubicaciones geográficas. Se apuntó que podrían vencerse diversos obstáculos, tales como los que originan las costumbres, las tradiciones, y la falta de preparación, por lo menos parcialmente, mediante el establecimiento de centros de demostración, la prestación de asistencia técnica y la intensificación y difusión de conocimientos sobre la disponibilidad y los posibles usos de las tres fuentes de energía.

Energía geotérmica

En general, aún no se aprecian como se debiera, las posibilidades que ofrece el aprovechamiento de las fuentes naturales subterráneas de vapor y agua caliente, ni todo lo que esas posibilidades significan. Las sesiones que dedicó la Conferencia a la energía geotérmica bien pueden abrir una nueva etapa en este sentido. Esta ha sido la primera ocasión — tanto en lo que se refiere a personas participantes como a objetivos — en que se ha hecho un esfuerzo concertado para reunir todos los conocimientos que se poseen en la materia, creando así nuevas perspectivas e intereses.

En la actualidad se emplea el vapor natural para mover centrales generadoras de electricidad que tienen una capacidad de casi 400.000 kilovatios, de las que unas tres cuartas partes se producen en Italia, y el resto en nuevas centrales de Nueva Zelanda, Estados Unidos, México y otros países. Se emplea también la energía geotérmica para dar

calefacción a los hogares de unos 45.000 islandeses, y sirve asimismo para muchas otras aplicaciones, desde la incubación de huevos en Kenia hasta los procesos térmicos de elaboración en una fábrica de pulpa de madera y papel, y la producción de sal y derivados químicos. Con todo, a juzgar por las deliberaciones de la Conferencia, las aplicaciones de la energía geotérmica están todavía en sus comienzos y sin duda llegarán a adquirir muchísima importancia, particularmente para la generación de electricidad en los países que ya han empezado a explotarla y en muchos otros que ahora se van dando cuenta de sus posibilidades y de las técnicas que han de emplearse.

Una de las limitaciones más serias a la popularización de su uso estriba en que se ignora dónde existen fuentes de energía geotérmica, con excepción de los lugares en que hay fuentes termales u otros indicios evidentes a flor de tierra, como sucede en todo el valle del Pacífico y en torno al mismo, en la cordillera del Atlántico, en el Rift Valley de Africa oriental y en algunas otras regiones que, por lo general, son de origen volcánico. Ahora bien, se señaló que la existencia de vapor no se limita necesariamente a las regiones volcánicas ni a las zonas en que se producen manifestaciones superficiales, como puede apreciarse en el caso de Italia. Se señaló que pueden existir posibilidades geotérmicas insospechadas en muchos países que todavía no han sido estudiados y a los cuales podría ayudarse para ver si vale la pena intentar su aprovechamiento. Hubo gran optimismo acerca de la posibilidad de descubrir recursos geotérmicos.

Se descubre y aprovecha la energía geotérmica mediante técnicas similares en algunos aspectos, aunque con importantes diferencias en otros, a las utilizadas en la industria del petróleo. Entre ellas se cuentan la prospección sobre la base de estudios geológicos, geofísicos y de otra índole, y la perforación de pozos. Las técnicas de prospección aplicables están ya muy perfeccionadas, pero la suma de conocimientos y resultados en cuanto a los recursos de energía geotérmica es aún modesta, debido en gran parte a que los estudios sobre el terreno y las perforaciones, que es lo único que puede aportar pruebas definitivas, han sido emprendidos en una escala muy reducida. Hasta ahora, sólo se han perforado 400.000 metros de pozos (de los cuales la mitad se encuentran en Italia) en busca de energía geotérmica, en comparación con los millones de metros que se perforan todos los años en busca de petróleo. Ahora bien, las técnicas que deben emplearse para seleccionar campos en los que puedan realizarse estudios intensivos no han sido bastante difundidas. En consecuencia, se mencionó que la prestación de asistencia técnica a través de las Naciones Unidas podría ser de gran importancia. Al cooperar en la planificación y ejecución de un buen programa exploratorio, podría lograrse que se realizaran mayores esfuerzos en las regiones que, según los conocimientos geológicos generales que se tienen y

las necesidades de energía que se experimenten, ofrezcan las máximas posibilidades.

Ha de reconocerse que una vez hechos los pozos de vapor, no se sabe a ciencia cierta lo que durará su vida productiva. Por ello se hace necesario comprender el origen del vapor geotérmico. Examinado este asunto, prevaleció la idea de que gran parte del vapor proviene de agua de lluvia que se filtra lentamente desde la superficie de la tierra hasta llegar a las rocas de elevada temperatura; de ese modo se reponen los recursos geotérmicos y adquieren un carácter más similar a la energía hidráulica que el que tienen el petróleo y otros recursos de duración limitada. Este asunto requiere mayor investigación, y se recomendó que al mismo tiempo que se lleva a cabo la misma se intensifiquen mucho los programas de perforaciones, a fin de ampliar nuestros conocimientos y usos de este recurso natural.

Las técnicas de utilización del vapor geotérmico han llegado a un alto grado de perfeccionamiento merced a la experiencia obtenida con los muchos tipos de grupos electrógenos que funcionan actualmente. En el caso de regiones nuevas, uno de los tipos que mayor interés ofrece es el de la unidad monobloque simple. Esta unidad se compone de una turbina y un generador, tiene una capacidad de hasta 3.500 kilovatios, y forma una sola pieza que puede transportarse fácilmente; funciona directamente con el vapor que sale del pozo y que luego expele. Otros de los tipos que se emplean son mayores, funcionando a base de distintos ciclos de vapor para extraer más energía de éste o para recuperar productos químicos derivados. Salvo en el caso de Islandia, la producción de energía eléctrica constituye en la actualidad, y en potencia, la forma más importante de utilización de la energía geotérmica. La experiencia de Islandia parece indicar que en algunas regiones las circunstancias pueden aconsejar el empleo de la energía geotérmica para proporcionar agua caliente, para dar calefacción en los hogares y las industrias y para efectuar operaciones de elaboración industrial que exijan calor, dentro de temperaturas de 100 a 300° C.

Se llegó a la conclusión de que la generación de energía eléctrica geotérmica ofrece muchas ventajas, entre ellas, la de evitarse el uso de calderas y combustible (inclusión hecha del combustible importado), la de contarse con una fuente de suministro constante, la de que las instalaciones son sumamente sencillas, y la de que los gastos de explotación son bajos. Donde la haya, la energía efectiva puede ser también en extremo barata, habiendo casos en que suministra electricidad a un costo de 0,2 a 1 centavo de dólar de los EE.UU. por kilovatio-hora, lo que permite establecer una comparación ventajosa respecto de las centrales corrientes. En condiciones favorables, la energía eléctrica geotérmica puede, pues, competir con la de cualquier otra fuente y habría de resultar interesante tanto para los países industrializados como para los que se hallan en vías de desarrollo.

No obstante, los gastos iniciales — para la central eléctrica y especialmente para la exploración y perforación — son tan elevados, que a juicio de los expertos que asistieron a la Conferencia cada instalación debe tener una capacidad mínima de unos 1.000 kilovatios para resultar económica. Una capacidad semejante, o mayor, puede absorberse fácilmente en zonas que tengan una red de distribución o mercados creados en torno a centrales aisladas, pero no sería tan fácil de colocar en zonas más remotas que carezcan actualmente de electricidad. Para que la instalación sea económica, también es necesario utilizar la capacidad a un elevado coeficiente de aprovechamiento, a fin de sacar la máxima ventaja de la inversión inicial relativamente alta, y de los reducidos gastos de explotación. Antes de invertir dinero en prospecciones minuciosas y, por supuesto, antes de dedicar capitales a la perforación y a la construcción de una central en las etapas posteriores, debe empezarse por estudiar la posibilidad de colocar un mínimo de energía eléctrica, y efectuar investigaciones preliminares de las manifestaciones superficiales y otros indicios de recursos geotérmicos.

Con las técnicas avanzadas actuales y la promesa de costos de energía eléctrica generalmente bajos, las perspectivas de una mayor utilización dependen ahora principalmente de que se intensifique la exploración de los recursos geotérmicos. Es muy posible que muchos países, sin saberlo alberguen en su subsuelo recursos geotérmicos importantes que podrían suministrar grandes cantidades de calor y electricidad.

No hay duda de que la labor de la Conferencia dará lugar a que se reflexione sobre la función de la energía geotérmica en muchos países que cuenten con las posibilidades necesarias. Los progresos y experimentos ya realizados — desde California, en el oeste, hasta Kamchakta y Japón, en el este, y desde Islandia, en el norte, hasta Nueva Zelandia, en el sur — ponen de manifiesto que los recursos geotérmicos constituyen una fuente omnipresente y prometedora de energía.

Energía eólica

Las sesiones dedicadas a la utilización de la energía eólica permitieron comprobar que había resurgido el interés por esta fuente de energía y por las nuevas técnicas para aprovecharla con fines productivos. Se proporcionaron informaciones de quince países distintos, según las cuales se estaba estudiando la conveniencia de utilizar, desde máquinas pequeñas para elevar agua y generar electricidad, hasta máquinas mayores (10 a 50 kilovatios) para comunidades remotas, e incluso todavía mayores (desde 100 hasta unos 900 kilovatios en la actualidad) para conectarlas con las principales redes de distribución de energía eléctrica. Varios participantes de países poco desarrollados subrayaron la utilidad de la energía eólica en las zonas rurales del interior, y en este aspecto, como en otros, solicitaron asistencia para efectuar

estudios de los vientos, formar personal técnico, organizar contactos y realizar instalaciones experimentales.

Las deliberaciones versaron principalmente sobre las invenciones e ideas más avanzadas, y quizá más refinadas, en la materia. No por ello dejó de reconocerse que todavía hay mucho campo para los sencillos molinos de viento tradicionales, principalmente para elevar agua en las regiones insuficientemente desarrolladas que carecen de electrificación rural, como sucede en la India, donde se está llevando a cabo actualmente la instalación de unos 200 molinos de vientos de fabricación nacional. Se señaló que en las zonas rurales que carecen de energía eléctrica, los molinos de viento pequeños pueden resultar sumamente económicos y, en todo caso, sus ventajas directas e indirectas a menudo son más importantes que el factor puramente económico.

También se discutieron los molinos de viento eléctricos para elevar agua y otros usos. Con respecto a la elevación de agua, por ejemplo, se señaló que los pozos suelen estar situados en depresiones del terreno y, por tanto, en lugares donde los vientos son débiles; pero colocando los molinos en puntos elevados y ventosos para aprovechar vientos mucho más fuertes y constantes, y tendiendo cables eléctricos hasta las bombas motorizadas, podría resolverse fácilmente el problema y extraer agua de varios pozos a la vez.

Este ejemplo, y como él podrían citarse muchos, demuestra la importancia que ha de darse a la elección del lugar de emplazamiento y a la determinación del régimen de los vientos. Se hizo constar la utilidad de los apuntes que llevan los observatorios meteorológicos y que abarcan largos períodos de tiempo. En dichos observatorios la determinación del régimen de los vientos no se ha venido haciendo con miras a la utilización de la energía eólica, y por ello suele tener que complementarse con estudios de los vientos, destinados a aplicaciones prácticas, y con mediciones especiales para fines de ensayo. A este respecto, se subrayó la necesidad de disponer de más estaciones, de datos más útiles, de que se uniformen los instrumentos y métodos de medición, y de que se hagan nuevas investigaciones y se busque nueva orientación sobre las normas que deben regir para la selección de buenos lugares que permitan aprovechar la energía eólica. No obstante, se ha hecho un buen comienzo en el estudio de los vientos y se han dado otros pasos preliminares para la utilización moderna y racional de la energía eólica en varios países cuya experiencia fue comunicada detenidamente en la Conferencia.

Con respecto al diseño y características de funcionamiento de las centrales anemoeléctricas, se estimó en general que ya se sabe lo bastante para poder fabricar e instalar dichas centrales en número considerable; y que su diseño no plantea ya problemas fundamentales ni ofrece perspectivas de nuevos avances espectaculares. Los adelantos técnicos expuestos en la Conferencia fueron muchos

— tales como el uso de plásticos reforzados con fibra de vidrio para la construcción de hélices, los diseños aerodinámicos que responden a las últimas teorías en la materia, y muchas otras innovaciones en los diferentes elementos que componen una central completa — pero en su mayoría constituían más bien refinamientos que se utilizarán en las futuras centrales para aumentar su eficiencia y reducir gastos.

Por lo tanto, se demostró que existen muchas posibilidades técnicas de producir energía eólica. Sin embargo, hay que distinguirlas de las posibilidades económicas. Desde el punto de vista económico, los expertos insistieron en que debería hacerse otra distinción entre las grandes centrales anemoeléctricas y las máquinas pequeñas con un rendimiento inferior a cinco kilovatios, que pudieran usarse en granjas y ortas aplicaciones en pequeña escala. Las máquinas más grandes habrían de utilizarse en regiones donde hubiera una gran red de distribución y conducción, es decir, en las zonas industrializadas, donde su aplicación se justificaría exclusivamente por el aspecto competencia (por ejemplo, el ahorro de combustible que significarían). Se mencionaron varias máquinas de esta categoría (unos 100 kilovatios), casi todas experimentales que, sin embargo, se acercan al costo buscado de 140 dólares por kilovatio y pueden instalarse en regiones donde los combustibles son relativamente caros. No obstante, para establecer bien o negar la viabilidad económica, en fuerte competencia con otras fuentes energéticas, de las centrales anemoeléctricas realmente grandes, tales como las que se están ensayando en Francia, haría falta realizar nuevas pruebas.

Los aeromotores medianos (con capacidad de 10 a 50 kilovatios y destinados normalmente a proporcionar energía a las aldeas, juntamente con motores diesel u otras unidades auxiliares para eliminar las intermitencias de suministro por falta de viento) pueden indudablemente resultar económicos porque ahorrarán combustible y podrán competir con otros motores, ya que una de sus características principales es que, al contrario de lo que sucede con los grupos dieseléctricos, no necesitan ser vigilados ni atendidos continuamente.

Sin embargo, el mayor interés lo despertaron las máquinas pequeñas, para las cuales se indicaron muchas posibles aplicaciones en las regiones menos desarrolladas. Se señaló que el costo de la energía procedente de tales máquinas pequeñas sería indudablemente mayor que el de la electricidad generada con máquinas mayores, pero en las situaciones energéticas que se estudian el costo relativamente elevado de la energía no reviste demasiada importancia. En muchas circunstancias, podría tolerarse incluso el suministro intermitente o una capacidad limitada de almacenamiento en acumuladores. Se subrayó que los primeros kilovatios que se obtienen son los más importantes, no sólo por su contribución económica sino también porque alivian el trabajo manual y mejoran

las condiciones de vida de la población rural. Las centrales anemoelectricas pequeñas, que son las más adecuadas para las aldeas, mejorarían mucho si se continuaran las investigaciones para poder reducir el costo de la energía mediante la normalización y la fabricación en serie en gran escala. Para esto hace falta que los dos participantes en estas mejoras (el fabricante y el posible usuario) se pongan en contacto. A fin de ampliar mucho la utilización de la energía, se sugirió a este respecto que las Naciones Unidas actúen como "elemento catalizador". Como enfoque posible del problema, se propuso que las Naciones Unidas establecieran en distintas partes del mundo, conjuntamente con los países interesados, centros experimentales y de demostración de la energía eólica y solar.

Energía solar

La mayoría de las sesiones de la Conferencia se dedicaron a la energía solar. Por su variedad, reflejaron los grandes esfuerzos en este campo, así como las muchas aplicaciones posibles, varias de las cuales se consideraron muy importantes para las regiones menos desarrolladas. Basándose en las 118 monografías presentadas por 22 países, se analizaron a fondo las amplias posibilidades, así como las limitaciones existentes. De este modo, la Conferencia constituyó un nuevo jalón en el largo y arduo camino para conseguir un medio práctico de aprovechar la energía solar por otros procedimientos que no sean las conocidas técnicas tradicionales de la evaporación en gran escala y de la desecación en la industria pesquera, en la agricultura y en la producción de sal a base de agua de mar. Los especialistas en energía solar se han reunido en muchos congresos científicos especializados durante muchos años, pero estas sesiones proporcionaron la oportunidad de revisar los progresos realizados en un contexto diferente². En esta ocasión, los especialistas tuvieron ante sí a portavoces de todo el mundo que representaban los posibles usuarios. Por lo tanto, se convencieron de la necesidad de aplicar cuanto antes la energía solar para atender requisitos concretos, tales como la generación de electricidad en pequeña escala, la fabricación de hielo para conservación de alimentos, la destilación de agua para beber y la obtención de otros productos y servicios de gran utilidad para los países menos desarrollados.

En los países industrializados, es probable que la energía solar se aproveche en artefactos tales como los hornos solares para investigaciones, los vehículos espaciales y los calentadores de agua. Sin embargo, la opinión más generalizada fue que la energía solar probablemente encontrará sus aplicaciones más importantes en los países menos desarrollados. En apoyo de esta afirmación se adujeron dos motivos principales: primero, la

energía solar puede considerarse en el futuro previsible principalmente como suplementaria, antes que como una fuente energética competidora excepcionalmente adecuada en las zonas que carecen de energía corriente, y segundo, las disponibilidades de la energía solar son más favorables en la faja comprendida entre los 40° de latitud Norte o Sur, en donde están situados la mayoría de los países menos desarrollados.

Para evaluar la energía solar disponible se precisa un sistema de redes de estaciones, instrumentos de medición, etc. Los debates pusieron de manifiesto que es necesario colmar las principales lagunas de la red mundial de estaciones de medición, ya que en la actualidad existen muy pocas estaciones en los países menos desarrollados (y sobre todo en las zonas áridas y semiáridas) y prestar especial atención a las condiciones microclimáticas y a las mediciones, conjuntamente con los centros experimentales y, de ser posible, con dirigentes de las aldeas capacitados para inspeccionar las mediciones con instrumentos sencillos. Las conclusiones indicaron un doble enfoque, en el que los meteorólogos tendrán en cuenta las directrices prácticas de los usuarios de datos y asesorarán en la medición e interpretación en el campo práctico.

Para aprovechar la energía de poca intensidad procedente de la radiación solar hace falta disponer de aparatos más eficaces y disminuir el costo de los colectores. Como el flujo es pequeño se requiere una gran superficie de concentración y el colector de reflexión o de placa plana representa la mayor parte del costo de la energía aprovechable; por lo tanto, aumentando el rendimiento de la conversión se reduce la superficie necesaria para obtener una determinada cantidad de energía útil. Así, pues, la investigación debe concentrarse en los problemas que plantea el incremento de la eficiencia y en la mejora de los colectores y de los diversos dispositivos destinados a aprovechar el calor o la luz del sol. En los debates se indicó que el incremento de la eficiencia depende en parte de los materiales utilizados y de sus propiedades como superficies absorbentes, cubiertas transparentes o superficies reflectoras; éstas progresan rápidamente con el avance de la tecnología de los materiales. Por ejemplo, el rendimiento de las células fotovoltaicas que convierten directamente la luz del sol en electricidad, se ha centuplicado durante el pasado decenio. De manera análoga, se informa que hubo notables adelantos en las llamadas superficies selectoras, que son ahora más eficaces para absorber calor y mantener bajas las pérdidas calóricas, con lo que bajan los costos al disminuir la superficie del colector. La aplicación de nuevos materiales, tales como los plásticos transparentes y las superficies reflectoras de plástico aluminizado especialmente adaptados, también han contribuido a rebajar el costo por unidad de superficie.

Se dedicó una sesión especial a los progresos logrados en materiales nuevos y en la adaptación de los que ya venían utilizándose, los cuales son

² La última reunión comparable hasta cierto punto se celebró en 1955 con ocasión del simposio mundial organizado por la Asociación de Energía Solar Aplicada, en Phoenix (Arizona).

la clave del mayor aprovechamiento de la energía solar. Esto se consigue principalmente como consecuencia secundaria de las amplias investigaciones que vienen realizándose en vehículos espaciales y otras aplicaciones, aumentando así las perspectivas que ofrecen las aplicaciones de la energía solar. Los participantes demostraron gran optimismo con respecto a la disminución de los costos, señalando al mismo tiempo que es preciso seguir investigando la adaptación de los materiales disponibles en los países de las regiones menos desarrolladas, donde la aplicación de la energía solar ofrece las mayores posibilidades.

La mayoría de las aplicaciones de la energía solar se encuentran en la fase experimental o de ensayo en "instalaciones piloto". En unos cuantos casos han llegado a la escala comercial (como se indica más adelante), pero las actividades tendrán que continuar para que dichas aplicaciones se generalicen en condiciones reales. Esta empresa requiere la colaboración internacional para salvar la laguna que hay entre las grandes esperanzas y las auténticas realizaciones. Hay que tener en cuenta que en muchos sitios los programas de investigación y desarrollo en este campo se financian con recursos públicos y privados y que en la mayoría de los aspectos se desarrollan en pequeña escala; la mayor parte de los laboratorios trabajan independientemente y se recurre a contactos personales y a la literatura corriente para intercambiar información. Sin embargo, la investigación sobre las aplicaciones de la energía solar se realiza en su mayor parte en países que apenas la necesitan. Así, pues, las actividades para desarrollarla deben coordinarse y reforzarse; además, la mayor parte de las aplicaciones deben comprobarse prácticamente sobre el terreno en las regiones del mundo donde no hay combustibles corrientes o son muy caros y donde la necesidad de utilizar la energía solar es mayor. Como el aprovechamiento de la energía solar se caracteriza por una inversión inicial relativamente grande y por unos gastos de explotación pequeños, parece que las mejores posibilidades las ofrecen las unidades relativamente pequeñas que puedan aprovechar la ubicua distribución de esta clase de energía y reducir al mínimo los costos de conducción y distribución.

Es evidente que las necesidades de energía solar y las posibilidades de aprovecharla deben evaluarse según la situación energética que existe en cada región del mundo. En este resumen de las deliberaciones, sólo es posible tratar en términos bastante generales de las aplicaciones concretas, el estado en que se encuentran, la evolución y las tendencias, y poner de relieve únicamente los usos y aspectos que los participantes creen revisten especial importancia y ofrecen una perspectiva más brillante para los países menos desarrollados. Por lo tanto, quizá sea pertinente extenderse sobre aquellos usos de la energía solar que mayores promesas encierran para esos países, con fines tales como la generación de electricidad, o para calefacción, refrigeración y destilación.

Obtención de electricidad a base de energía solar

Una de las cuestiones más destacadas de la Conferencia fue la de las posibilidades de generar electricidad a base de energía solar, sobre todo porque se reconoció el vital papel que podrían desempeñar las pequeñas unidades eléctricas en las telecomunicaciones, alumbrado, bombeo y otras muchas aplicaciones en las regiones menos desarrolladas que no disponen de energía eléctrica producida por los medios más usuales. Se examinaron dos posibles métodos para generar electricidad a base de energía solar: uno mediante motores térmicos de tipo más o menos tradicional accionados con energía captada en colectores solares, y otro basado en la conversión directa a electricidad mediante diversos dispositivos.

Aunque la producción de energía mecánica y eléctrica mediante motores térmicos solares es uno de los objetivos que se trata de alcanzar desde hace mucho tiempo y se han construido muchos modelos con el transcurso de los años, la fuerza del sol apenas se ha empleado para generar energía. Algunas ideas nuevas espuestas en Roma, especialmente por científicos israelíes, permiten esperar que se resolverá en cierto modo este problema. Esos científicos han perfeccionado una pequeña central eléctrica accionada por energía solar, con una capacidad de dos a diez kilovatios, que tiene una turbina de nuevo tipo que funciona mediante vapores orgánicos de rendimiento excepcionalmente grande, un espejo colector de plástico en forma de globo y una instalación de almacenamiento de calor, que permite que la máquina trabaje de noche con carga reducida. Se calcula que costará unos 1.000 dólares por kilovatio y se espera que genere electricidad a 0,05 dólares o menos por kilovatio-hora en las regiones soleadas, por lo que se confía que este tipo de central podrá funcionar en condiciones de competencia en muchas localidades. Despertó gran interés un prototipo que se exhibió funcionando durante la Conferencia.

Los debates sobre otras técnicas prometedoras revelaron algunos detalles de un nuevo sistema de calefacción basado en un "estanque solar" como colector de energía. Aunque todavía se encuentra en las primeras etapas de desarrollo, si tiene éxito podrán producirse megavatios con un costo comparable al de la electricidad obtenida en las grandes centrales corrientes. Otro tipo de instalación térmica que se estudió pertenecía a la categoría de turbina y émbolo, y se basaba en una nueva forma de aplicación de la energía solar en los llamados motores Sterling (o de gas regenerativo de ciclo cerrado). También podría llegar a ser una posibilidad práctica la adaptación de los motores solares que vienen fabricándose con grandes gastos para utilizarlos en el espacio ultraterrestre, aunque por ahora no se dispone de suficientes datos que permitan establecer proyecciones.

La conversión directa de energía solar en electricidad por medio de dispositivos termoeléctricos o

fotovoltaicos constituye otro enfoque al que quizá se dedican la mayoría de las actividades de desarrollo bajo el acicate de las investigaciones espaciales. Aunque la conversión directa, que suprime el tradicional ciclo de vapor y las piezas móviles, ofrece las ventajas de la sencillez, el silencio y la seguridad en el funcionamiento, tiene la gran limitación del costo. Los aparatos son caros y, por lo tanto, si se exceptúa su uso para cargas muy pequeñas, como las que se emplean en la radio y en otros sistemas de comunicaciones, su aplicación será limitada, a menos que el progreso científico y tecnológico reduzca los costos. Hay motivos para sentirse optimistas; sólo en los últimos tres años los costos se han reducido en unas dos terceras partes.

Es posible que los progresos más estimulantes se hayan logrado en los sistemas de generadores termoeléctricos. Estos se basan en un gradiente de temperatura que genera una corriente eléctrica entre dos juntas de materiales semiconductores de un generador, o entre un cátodo calentado y un ánodo frío en un convertidor termoiónico. Como el calor puede extraerse de un colector solar concentrador o de cualquier otra fuente térmica de alta temperatura, los interesados en el aprovechamiento más eficaz de los combustibles también trabajan mucho en estos sistemas. Así, pues, es posible que pronto aparezcan en el mercado pequeños generadores accionados por energía solar para fines tales como el bombeo de agua en regiones aisladas, y ciertamente se habría de probarlos en centros experimentales. Además, en estas pequeñas aplicaciones el colector concentrador solar puede emplearse también durante otras horas del día para cocinar y para regenerar el sistema de enfriamiento de refrigeradores solares de tamaño reducido.

Se han logrado progresos considerables en los dispositivos fotovoltaicos que convierten directamente la luz del sol o los fotones de alta energía en electricidad. Más conocidos con el nombre de pilas o baterías solares su venta excede de 10 millones de dólares por año solamente en los Estados Unidos.

Por ejemplo, las pilas de silicio se emplean mucho en los sistemas de comunicaciones, en la radio, en los faros lejanos y en otros muchos usos para los que únicamente se requieren unos cuantos vatios. Entre las posibles aplicaciones figuran el uso en los satélites espaciales, así como en sencillos sistemas de altavoces en aldeas remotas. Ahora bien, para que los dispositivos fotovoltaicos puedan tener un uso más extenso en aquellas aplicaciones que requieren kilovatios en lugar de vatios, como sucede en las grandes operaciones de bombeo y en los hogares y pequeñas industrias, tendrá que bajar mucho el costo actual de 100.000 dólares o más por kilovatio. Varias propuestas y experimentos que se examinaron en la Conferencia sobre la forma de mejorar el rendimiento, el empleo de nuevos materiales y las técnicas de fabricación totalmente nuevas, pueden servir para tal objeto o por lo

menos contribuir eficazmente a reducir el costo en el 99% adicional que es necesario para que esta forma de energía pueda aplicarse en condiciones de competencia.

Al analizar los progresos conseguidos, la impresión general fue que la energía solar producida mediante diversos dispositivos ya está saliendo de la fase de desarrollo y que, aparte varias aplicaciones especializadas, puede emplearse con eficacia en varios usos en pequeña escala en las regiones menos desarrolladas, con objeto de mejorar las condiciones de vida, acabar con el aislamiento y ayudar a mejorar la situación de la sanidad y la enseñanza. Con el apoyo adecuado y ensayos sobre el terreno hay motivo para esperar que se amplíen las aplicaciones, aunque la producción de energía en gran escala probablemente tardará mucho tiempo en resultar económica.

Utilización de la energía solar para refrigerar, calentar y otros fines

Como revela el programa de la Conferencia, existen muchas posibles aplicaciones de la energía solar para otros fines que no sean la generación de energía. Si se exceptúa el calentamiento de agua por el sol, la mayoría de dichas aplicaciones se encuentran todavía en la etapa experimental y de desarrollo, y necesitan que se las verifique y perfeccione investigando en laboratorios, proyectos experimentales y ensayos en gran escala sobre el terreno efectuados en las regiones donde es más probable que se utilicen.

Los debates de la Conferencia demostraron que la refrigeración y otras formas de conservar alimentos mediante energía solar constituyen quizá las aplicaciones más importantes, aparte de la generación de electricidad, en las zonas menos desarrolladas. El empleo de la energía solar para refrigeración y enfriamiento de edificios ofrece la evidente ventaja de que el suministro de energía es más abundante cuanto más se necesita. Los alimentos se deterioran más en los países cálidos, donde el solo hecho de la refrigeración bastaría para salvar gran cantidad de productos alimenticios y permitiría que se distribuyeran de una manera más uniforme a precios más estables. Una de las soluciones más prometedoras sería la elaboración de hielo a base de energía solar mediante pequeñas instalaciones que ya existen como prototipos, y que se ha demostrado que pueden producir hielo a precios comparables con los del producto obtenido por otros procedimientos. Por su mayor rendimiento, mejor mantenimiento y facilidad de financiación, se sugirió que los esfuerzos se concentren en las fábricas de hielo de comunidad o aldea, tal como se hace en Birmania. (Un participante de ese país señaló que la central de fabricación de hielo resultaría económica incluso a un precio doble del anunciado en Francia por el diseñador del prototipo.)

Los participantes se mostraron menos esperanzados respecto de los refrigeradores solares para familias, que hoy existen en forma de prototipo y funcionan con un ciclo intermitente de recarga de unas dos horas por día. Las dificultades técnicas para los usuarios inexpertos y el problema económico que representan para las familias pobres son obstáculos formidables. De manera análoga, el acondicionamiento del aire por energía solar sólo podría aplicarse a los edificios públicos. De todas formas, el enfriamiento de edificios a base de energía solar no ha progresado tanto y requiere todavía muchas investigaciones y experimentos prácticos, así como una mayor atención al diseño de las casas para que pueda proporcionar aunque sólo sea un alivio parcial contra el calor y la humedad.

La desecación por el sol, tema de otra sesión, se ha descuidado bastante a pesar del papel tradicional que desempeña para secar cereales, frutos, verduras, pescado y otros productos. Podrían ahorrarse grandes cantidades de alimentos y de dinero si se hicieran adaptaciones modernas de las técnicas y equipos tradicionales.

Se ha llegado a la conclusión de que el problema es algo distinto en lo que se refiere a la producción de agua potable mediante destilación solar del agua de mar o salobre. Ya son muy conocidas las unidades para producir agua potable de tamaño familiar, fáciles de comprar y de construir en los países con un costo de 10 a 30 dólares por m² y una producción de 1.500 ó 2.000 litros por año. Aunque no parece que pueda mejorarse mucho su rendimiento, es probable que pudiera rebajarse su costo mediante el uso de nuevos materiales, diseños perfeccionados y fabricación en serie. En vista de que aumenta la escasez de agua y como se ha reconocido el destacado factor sanitario que es el agua potable, estos aparatos pequeños de destilación adquieren cada vez más importancia y merecen que se les preste más atención. Sin embargo, es dudosa la utilidad de unidades de destilación solar mayores (cuya producción exceda de 50.000 litros diarios, por ejemplo) para las zonas urbanas, la industria y el riego, puesto que hay otros métodos de producción al parecer más baratos. El problema de los costos es mucho más grave, y los participantes expresaron menos optimismo sobre los diseños presentados.

A este respecto, el período de sesiones sirvió para sintetizar la situación en un momento oportuno, al reunir muchos trabajos teóricos recientes sobre el funcionamiento de los alambiques solares, definir las necesidades e introducir proyectos nuevos. En resumen, pese a la decepción en cuanto a los resultados reales, la destilación solar en gran escala no debe descartarse bajo ningún concepto. Todavía quedan por ensayar algunos procedimientos, tales como el denominado proceso de Claude o "estanques solares", en los que se combina la producción de agua y de energía, y otras ideas completamente nuevas que puedan ayudar a obtener

grandes cantidades de agua a un costo aceptable.

Como ya se ha indicado, el calentamiento de agua por medio del sol es la principal aplicación actual de la energía solar en escala comercial. En el Japón, se venden cada año hasta 100.000 unidades a precios que oscilan entre seis dólares y cantidades mucho mayores por unidades más duraderas y complicadas. En su forma más sencilla y barata, los calentadores solares de agua deben aplicarse indudablemente en las regiones menos desarrolladas para baños, lavanderías y otros fines, o para aplicaciones más extensas, ya que puede amortizarse su costo en unos cuantos meses, o años, gracias al ahorro de combustible. Los calentadores podrían adquirir también más importancia en los países avanzados para ahorrar combustible, según indica la difusión de su uso en la región meridional de los Estados Unidos, el Japón e Israel, donde la competencia de estos dispositivos ha obligado a las compañías a rebajar el precio de la electricidad para calentar agua. Por lo tanto, el futuro de los calentadores solares es halagüeño, pero puede serlo todavía más si se los unifica y simplifica, y si se rebajan los costos.

La calefacción de las casas con energía solar, que reviste poca importancia en las regiones cálidas, no merece que se examine con detalle, como no sea para señalar que todavía se encuentra en la etapa experimental y que en general no es económicamente viable. Sin embargo, con los conocimientos científicos que hoy se tienen y con nuevos progresos, las perspectivas pueden mejorar, sobre todo si es posible combinar la calefacción con el acondicionamiento de aire y si el almacenamiento del calor puede mejorarse para eliminar la discrepancia entre el suministro y el momento del uso.

Los hornillos solares parecen haber llegado al punto en que su aplicación práctica puede ser inminente. Ya se han hecho unas dos docenas de modelos utilizables, ocho de los cuales fueron presentados en la Conferencia. Varios parecen capaces técnicamente de satisfacer gran parte de las necesidades culinarias de los habitantes de climas soleados. Para que pueda generalizarse su uso, hay que reducir el costo del equipo, que hoy es de unos quince dólares. También es preciso organizar el crédito para la compra de los hornillos. Parece conveniente introducir nuevos modelos, materiales y técnicas de fabricación con objeto de mejorar el rendimiento y disminuir los costos de manufactura.

Los hornos solares, que pueden calificarse de hornillos solares de gran tamaño (hasta 1.000 kilovatios) tienen excepcionales características para tratamientos e investigaciones a elevadas temperaturas. Los especialistas creen que su empleo se generalizará hasta el punto de que los más grandes podrán competir con los hornos tradicionales en la elaboración de productos caros. No obstante, su uso se limitará a casos especiales en los países menos desarrollados, donde es probable que el interés se concentre en las instalaciones de menos

temperatura para secar ladrillos, fabricar hielo o generar energía.

*Problemas de almacenamiento de energía
y combinación de fuentes*

En todas las sesiones se puso de manifiesto el gran inconveniente de la energía eólica y la solar que constituye la intermitencia del suministro. El problema giró alrededor de la necesidad de vencer esta limitación almacenando la energía y por otros medios. Sin embargo, en algunas aplicaciones el momento de la producción tiene poca importancia, como en el bombeo de agua, y la energía puede emplearse cuando se dispone de ella. A este respecto, los participantes insistieron en la importancia de aprovechar la energía a medida que esté disponible, ajustando la demanda a la oferta y calculando el costo real (representado principalmente por el interés y la amortización de la inversión inicial) en función de la cantidad consumida y no de la producida.

Hay que realizar investigaciones para mejorar y reducir mucho el costo del almacenamiento de calor y fuerza procedentes de la energía solar y eólica, así como para encontrar nuevas formas de resolver el problema de la intermitencia. Las investigaciones podrían orientarse, por ejemplo, a construir baterías más sencillas y baratas y de mayor duración y a perfeccionar las pilas de combustible, que todavía no se consideran estar en condiciones de ser utilizadas en los países menos desarrollados. La mayoría de estas investigaciones deberían realizarse en los países industrializados que disponen de medios y técnicos para iniciar la actividad básica. La energía solar y la eólica probablemente desempeñarán un papel más importante compitiendo con otras formas de energía a medida que se progrese en este campo.

En la actualidad, los dispositivos de almacenamiento directo se limitan en la práctica a los

acumuladores corrientes, que son útiles para cargas pequeñas pero prohibitivamente caros cuando se trata de almacenar grandes cantidades de electricidad, y al almacenamiento de calor a baja temperatura. Esto último se logra con facilidad por medios sencillos cuando se trata de calentar agua y edificios mediante energía solar durante períodos cortos, pero no se le ha prestado suficiente atención cuando se trata de almacenar calor a temperaturas más elevadas, requeridas para otras aplicaciones, y de almacenarlo durante períodos más largos (por ejemplo, de verano a invierno).

El problema de la intermitencia también puede resolverse combinando varias fuentes energéticas. Por ejemplo, la potencia intermitente en gran escala puede pasarse a las redes de distribución de electricidad o utilizarse para bombear agua hasta un depósito, para generar después energía hidroeléctrica invirtiendo el proceso.

Sin embargo, para las regiones menos desarrolladas resultan más interesantes las propuestas que se examinaron durante la Conferencia de combinar energía solar y eólica y energía de otras fuentes locales, tales como materiales de desecho, en amplios programas en beneficio de las aldeas, con objeto de satisfacer las diversas necesidades energéticas. Como fuentes de fuerza, el viento y el sol son irregulares, pero los desechos vegetales pueden usarse como combustible almacenado, cuando no se dispone ni de viento ni de sol, para generar energía. Teniendo muy en cuenta las características de estas fuentes y la naturaleza, oportunidad y magnitud de las necesidades energéticas de una aldea típica de un país insuficientemente desarrollado, se ha aceptado en general esta idea como buena. Para poner a prueba su aplicación en condiciones realmente prácticas, se sugirió que se iniciaran programas de ensayo conjuntamente con los proyectos experimentales propuestos para determinadas regiones menos desarrolladas.

Capítulo 3

RESULTADOS QUE PUEDE APORTAR LA CONFERENCIA

Según se demostró en la Conferencia sobre Nuevas Fuentes de Energía, los progresos logrados y la experiencia adquirida hasta ahora, indican que la energía solar, eólica y geotérmica, contribuirá de una manera significativa al crecimiento de las economías de los países, sobre todo de los menos desarrollados.

La Conferencia se ocupó de evaluar las posibilidades, así como de las limitaciones y los problemas que plantea el mayor uso de estas fuentes. Aunque se limitó exclusivamente al intercambio de ideas y experiencias, y no trató de hacer recomendaciones ni concertar acuerdos, sirvió para aclarar por lo menos implícitamente, la necesidad de que los interesados actúen en distintos planos (incluidas las Naciones Unidas y algunos organismos especializados) con objeto de encontrar soluciones a problemas como los que se analizan a continuación.

Las directrices sugeridas van desde el estímulo a las investigaciones y la exploración de recursos hasta el establecimiento de estaciones experimentales y un mejor intercambio de información. Como se señaló especialmente en la sesión de clausura de la Conferencia, la asistencia y otras formas de acción internacional pueden desempeñar un papel destacado en este proceso.

INVESTIGACIONES

Aunque en distinto grado, las investigaciones científicas y tecnológicas son esenciales para ampliar el uso de las tres formas de energía. Ahora bien, en la esfera geotérmica, además de la necesidad de realizar investigaciones básicas sobre el origen del vapor, el problema estriba en divulgar los conocimientos y la capacitación técnica para conseguir que se elijan y utilicen técnicas apropiadas. La técnica de la energía eólica también está adelantada, pero podría adaptarse mejor a las condiciones de cada país, con objeto de aprovechar más los materiales y conocimientos disponibles para reducir los gastos de instalación y explotación.

Sin embargo, respecto de la energía solar, a los científicos todavía les queda un largo camino que recorrer, con muchos problemas y dificultades no resueltos. Las técnicas de la mayoría de las aplicaciones de la energía solar se encuentra en las primeras etapas de desarrollo. Para estas aplicaciones se requieren más investigaciones básicas y aplicadas, en especial a fin de resolver el difícil

problema del almacenamiento de energía. También hay que adaptar los dispositivos y efectuar pruebas sobre el terreno en las condiciones que predominan en los países menos desarrollados. Por ejemplo, ya se ha iniciado esta interesante tarea con un acuerdo concertado hace poco entre una universidad del Canadá y la Organización para la Agricultura y la Alimentación; ya se han publicado dos boletines oficiosos preparados por consultores.

Los debates de la Conferencia demostraron que todavía queda mucho por hacer para coordinar mejor las actividades de investigación y aprovechar más la energía, así como para asignar más fondos y especialistas calificados a las investigaciones empezadas, sobre todo en los países industrializados. El campo de la energía solar es tan vasto y el alcance de las investigaciones científicas tan amplio, que hay que clasificar sistemáticamente los sectores prometedores de tales investigaciones según las necesidades y posibilidades cuya existencia se reconoció en la Conferencia. Desde el punto de vista de las investigaciones científicas, si la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), por ejemplo, iniciara ese análisis podría proporcionar una lista muy útil, de la que las universidades y otros centros o entidades elegirían los proyectos de investigación más prometedores para concentrar en ellos sus actividades y establecer una base sobre la que coordinar con más eficacia los trabajos que se realizan en la esfera de la energía solar. Si la UNESCO o la Asociación de Energía Solar Aplicada o tal vez ambas organizaciones, prepararan una lista con las actividades a las que debía darse prioridad, sería una forma útil de proseguir la labor de la Conferencia, y se complementaría la guía de las actividades mundiales y la bibliografía publicadas por la citada Asociación en 1959.

EXPLORACIÓN DE LOS RECURSOS Y REUNIÓN DE DATOS

La Conferencia demostró claramente que se necesitan muchos más datos sobre las disponibilidades de energía solar, eólica y en especial geotérmica, y también información complementaria sobre las fuentes energéticas sustitutivas y los datos económicos y análisis conexos.

Respecto a la disponibilidad física de recurso, la reunión de datos generales es o debe ser parte del

trabajo normal de los servicios geológicos, en el caso de los recursos geotérmicos, y de los servicios meteorológicos, en el caso de las condiciones de los vientos y de la radiación solar. Con los medios de que hoy se dispone para la exploración geotérmica, los servicios geológicos pertinentes no debieran tropezar con demasiadas dificultades para iniciar por lo menos una investigación preliminar de los fenómenos de superficie y de las características geográficas conexas que revelan la presencia de yacimientos geotérmicos y, partiendo de esta base, decidir si debe realizarse una exploración más minuciosa. De desearse, como ya se señaló en la sesión de clausura, sería posible obtener para este fin grupos de expertos de asistencia técnica de las Naciones Unidas, contratándolos entre los especialistas de los países que tengan gran experiencia en este campo.

Respecto del viento y de la radiación solar, las lagunas existentes en la reunión general de datos se están eliminando poco a poco mediante la ampliación de la red de estaciones meteorológicas, aunque quizá no se efectúe ni con el ritmo ni en las regiones (tales como las zonas áridas y los puntos microclimáticos) más adecuados desde el punto de vista del aprovechamiento de la energía.

Cabe señalar que, además de facilitar el establecimiento de redes de estaciones y de coordinar las estadísticas, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) se interesa en promover, en el campo de la meteorología, las investigaciones y la capacitación relativas a la radiación solar y a las observaciones sobre el régimen de los vientos, y en ayudar a los ingenieros a usar los datos y conocimientos meteorológicos. En cuanto a otros aspectos de carácter meteorológico que guardan una relación más específica con los estudios sobre recursos energéticos, es alentador el hecho de que la Comisión de Aerología de la OMM ya haya respondido a las necesidades expresadas en la Conferencia de Roma, aprobando una resolución relativa al establecimiento de un grupo de trabajo sobre emplazamientos de instalaciones anemoelectricas. Este grupo va a preparar una nota técnica sobre la circulación de corrientes de aires sobre las montañas y propondrá estudios que sirvan de orientación para la selección de emplazamientos. Otro ejemplo, ahora que la Conferencia ha determinado ya más claramente las necesidades prácticas en lo que respecta a la medición de la radiación solar, lo constituye la intensificación de las actividades en este sentido por grupos de trabajo dependientes de la Comisión de Instrumentos y Métodos de Observación (CIMO) de la OMM — en colaboración, cuando corresponda, con la Comisión de Radiación de la Asociación Internacional de Meteorología y Física Atmosférica.

Sin embargo, el conocimiento general de las posibilidades físicas no constituye más que un primer paso; la selección de las zonas destinadas a estudios intensivos ha de guiarse sobre todo por amplias consideraciones económicas. A este respecto son menester estudios generales sobre energía que tengan en cuenta no sólo la disponibilidad de la misma

en cada zona pertinente, sino también la demanda actual y la demanda previsible en cada sector sobre la base de diversos cálculos de costos, precios, etc. Este es un aspecto indispensable de la investigación, para el cual las Naciones Unidas han proporcionado especialistas a diversos países a fin de que presten su concurso para evaluar las posibilidades de aprovechamiento de los recursos energéticos. De esta manera, puede hacerse una selección más acorde con la realidad de las zonas favorables para localizar recursos geotérmicos, solares y eólicos.

UNIFICACIÓN DE NORMAS

Muchos participantes reconocieron la necesidad de unificar las medidas, los instrumentos y el equipo como medio de fomentar la adopción más amplia de las nuevas técnicas de aprovechamiento de energía, ya que ello reduciría los costos, acrecentaría el intercambio de información y facilitaría la capacitación necesaria y la prueba de equipos. Esto se aplica sobre todo a diversos aspectos de la radiación solar y de la determinación del régimen de los vientos, tales como los tipos de instrumentos utilizados y las clases de datos necesarios y su presentación. Este campo es objeto de la atención general de la OMM y de sus diversos órganos, especialmente desde el punto de vista meteorológico, pero parece requerir un esfuerzo concertado en el que se tengan más en cuenta los datos que necesitan los que se interesan en la utilización práctica de la energía, según se señaló en la Conferencia y en otros lugares.

En cuanto a una posible unificación del equipo, se hizo notar que ya se producen en gran número y variedad ciertos artefactos, tales como molinos de viento pequeños y calentadores solares de agua. En algunos de estos casos la unificación podría reportar las economías que permite la producción en masa, la intercambiabilidad de piezas y la similitud de rendimiento. Si bien puede ser difícil organizar y llevar a cabo esta unificación, se la considera sumamente conveniente ¹.

ESTACIONES Y CENTROS EXPERIMENTALES

Una de las ideas más interesantes emanadas de la Conferencia es la de establecer estaciones piloto y centros experimentales en aquellas regiones menos desarrolladas y pobres en recursos energéticos que disponen de mucho viento y sol. Estas estaciones o centros cumplirían diversas funciones; podrían distribuir instrumentos de medición solar y eólica, vigilar su uso, difundir información sobre selección de emplazamientos y equipo y adaptar este último a las necesidades locales; y, en general, contribuir al esclarecimiento y solución de los pro-

¹ Se ha sugerido que comités integrados por entidades especializadas, tales como la Asociación de Energía Solar Aplicada y las organizaciones nacionales de energía eólica, podrían examinar este problema y proponer procedimientos y criterios a los gobiernos. Esto se aplicaría también a la fijación de normas para evaluar las cualidades técnicas y la eficacia de los dispositivos solares y eólicos.

blemas tecnológicos que se plantean en la práctica. Los proyectos experimentales permitirían también un mayor intercambio de investigadores, para que aquellos procedentes de países en proceso de desarrollo se pusiesen al tanto de los adelantos técnicos más recientes, y los de los países industrializados se familiarizasen con las condiciones locales y prestasen asesoramiento.

Las estaciones experimentales serían algo más que simples centros técnicos. Estarían en condiciones de demostrar las posibilidades de efectuar economías y de actuar como intermediarios de la asistencia técnica y financiera. También serían los iniciadores de la aplicación práctica en las condiciones propias de las regiones subdesarrolladas, ayudando a comprender mejor los problemas sociales y económicos que supone, en el plano del hogar y de la aldea, la introducción y conservación de nuevos artefactos que comprenden desde hornillos solares y máquinas para hacer hielo hasta operaciones de bombeo y otras aplicaciones prácticas de la energía. Para que su introducción tenga éxito habría que recurrir a los servicios de desarrollo de la comunidad y a la experiencia necesaria para resolver problemas en el terreno psicológico y en el de las actitudes sociales, así como otros obstáculos, pues lo que se pretende no es tan sólo el singular experimento del hornillo solar, sino amplios planes experimentales, como los que se explican y proponen con bastante detalle en algunos trabajos presentados a la Conferencia ².

Los planes y centros experimentales propuestos se consideran indispensables en esta coyuntura para abrir grandes posibilidades de aplicación en las esferas que se tienen en estudio. Representan un criterio práctico, que puede aplicarse organizando estaciones experimentales en regiones bien seleccionadas de las diversas partes del mundo. La iniciativa tendrían que tomarla los gobiernos interesados, los cuales podrían a su vez solicitar asistencia de las Naciones Unidas y de sus organismos especializados por conducto del Programa Ampliado de Asistencia Técnica y del Fondo Especial para establecer esas estaciones, conseguir los expertos y el equipo necesarios, etc.

CONFERENCIAS E INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN

La Conferencia ha demostrado su utilidad como medio de intercambiar información, y ha despertado ciertas esperanzas de que las Naciones Unidas

prosigan esta labor, sobre todo mediante la difusión de los trabajos técnicos presentados a la Conferencia y la publicación de informes periódicos cada cierto número de años sobre la labor realizada en el mismo campo. Si tales informes lo justifican, el Consejo Económico y Social podría pensar en estimular la celebración de reuniones especiales de alcance regional o mundial.

Por supuesto, en tales planes se tendrían en cuenta las conferencias organizadas en el campo de la investigación científica por otros órganos, tales como la UNESCO. A este respecto vale la pena señalar que, para su sexta reunión plenaria, que ha de celebrarse en Australia en octubre de 1962, la Conferencia Mundial de la Energía ha establecido ahora subdivisiones correspondientes a la energía geotérmica, eólica y solar.

A pesar de su gran utilidad, las conferencias están demasiado espaciadas para satisfacer la gran demanda de medios permanentes de comunicación. En este sentido, el campo de la energía solar es el único bien dotado, especialmente en lo relativo a la investigación, gracias a las actividades de la Asociación de Energía Solar Aplicada, de carácter internacional, que cuenta con un gran número de miembros, una biblioteca central, servicios de información y publicaciones ³. No parece que se hayan hecho esfuerzos serios en este sentido por lo que respecta a los otros dos tipos de energía; por ello, algunos participantes en la Conferencia sugirieron la creación de algún órgano internacional permanente de energía eólica que se encargase de publicar boletines regulares y de encauzar la información, en tanto que otros indicaron la necesidad de una publicación sobre cuestiones geotérmicas.

Se expresó la esperanza de que, en conformidad con su función permanente en cuanto al desarrollo de todas las fuentes de energía, las Naciones Unidas y, cuando correspondiera, sus organismos especializados, desempeñaran un papel más activo en el estudio y la aplicación de las nuevas fuentes de energía. De este modo se puso de manifiesto la necesidad de mantener las relaciones ya bien establecidas en la Conferencia, y de ayudar — dentro de las disponibilidades de personal y medios financieros — en la coordinación de los esfuerzos y en el intercambio sistemático de información entre las instituciones y organizaciones interesadas.

² Entre los cuales es digno de mencionar el de Kapur (E/CONF.35/GEN/8), titulado *Socio-economic considerations in the utilization of solar energy in under-developed areas*, y el de Golding (E/CONF.35/GEN/5), *Power from Local Energy Resources*.

³ Se destacan su revista trimestral sobre ciencia e ingeniería de la energía solar, llamada *Solar Energy*, y su boletín trimestral, *The Sun at Work*. Debe señalarse que esta Asociación prestó una colaboración decidida y eficaz a la Conferencia, y cabe esperar que lleve adelante el estudio de ciertas cuestiones consideradas en la Conferencia, por lo menos en lo que se refiere a la energía solar.

PARTE II

INTRODUCCION

Aspectos de la energía vistos en su perspectiva mundial La energía y los países subdesarrollados Características principales de las nuevas fuentes de energía

Las posibilidades de utilización práctica de nuevas fuentes de energía distintas de la atómica fueron objeto de un amplio informe de las Naciones Unidas publicado en 1957¹. Desde entonces se ha adelantado mucho en relación con la energía solar, la eólica y la geotérmica, como lo demuestra la documentación presentada a la Conferencia, que constituye la materia substancial en que se basa esta parte del presente informe².

Antes de abordar los aspectos económicos y técnicos de cada una de estas nuevas fuentes de energía — que no son “nuevas” en su origen sino, sobre todo, por lo que respecta a los procedimientos ideados en los últimos tiempos para aprovecharlas — parece conveniente ofrecer una amplia visión de conjunto. Esta es la finalidad de la presente introducción, que es una versión condensada del informe presentado a la sesión general (GR/1).

ASPECTOS DE LA ENERGÍA VISTOS EN SU PERSPECTIVA MUNDIAL

En varios trabajos (GEN/8, 10, 15) se analizan con cierto detalle el consumo mundial reciente y previsible de energía, que ha venido creciendo con ritmo acelerado y llega actualmente, nada más que para las fuentes tradicionales de energía comercial, a algo más del equivalente de 4.000 millones de toneladas anuales de carbón. A este consumo de energía comercial debe añadirse, como lo señalan Netschert y Löf (GEN/10), alrededor de un 15% de fuentes “no comerciales” (desechos agrícolas, leña), que todavía representan entre la tercera parte y la mitad del consumo total de energía en la América Latina, África y Asia. Las proyecciones a largo plazo para el porvenir son necesariamente inciertas: las estimaciones del total mundial para

el año 2000, expresado en su equivalente de toneladas de carbón, varían entre 15.000 y 20.000 millones de toneladas. Sean cuales fueren las estimaciones, no cabe duda de que el consumo de energía crecerá con rapidez mucho mayor que la población mundial, que se supone habrá de aumentar aproximadamente al doble en el mismo período.

Esta aceleración guarda una estrecha relación con el desarrollo económico y el aumento del ingreso previstos. El ingreso nacional y el consumo de energía per cápita guardan estrecha interdependencia, como lo demuestra Hartley (GEN/4) con cifras correspondientes a noventa y nueve países. Sin embargo, la relación no es sencilla. Se producen desviaciones (Mueller, GEN/7) debidas a factores tales como las diferencias en la disponibilidad de recursos energéticos, el clima (que afecta a las necesidades de calefacción), la estructura industrial y los sistemas de transportes, así como complicaciones de orden estadístico. Salvedades análogas han de hacerse para la electricidad, que también puede considerarse, y tal vez con más razón, como un índice del nivel de vida.

Las modificaciones del ingreso y las del consumo de energía tienen una acción recíproca y no es posible considerar a ninguno de estos elementos como la causa del otro. Pero en definitiva puede afirmarse que la disponibilidad de energía, en especial de energía eléctrica, es absolutamente imprescindible para todo desarrollo económico de importancia. Esto se reconoce en todas partes y se refleja en diversos planes de desarrollo económico.

La relación ingreso-energía se advierte claramente en la distribución geográfica del consumo de energía. En efecto, Kapur (GEN/8) dice que en 1960 los países industrialmente avanzados representaban el 30% de la población total, pero el 84% del consumo total de energía; las proporciones correspondientes eran del 50% y el 15% para los países que estaban próximos a un desarrollo sostenido por medios propios o en camino de conseguirlo en tanto que los países más atrasados de África, Asia y la América Latina representaban el 20% de la población y únicamente el 1% del consumo de energía. Sus proyecciones para los años 1975 y 2000 indican un ligero desplazamiento relativo tanto de la población como del consumo de energía hacia

¹ Naciones Unidas, *Nuevas fuentes de energía y desarrollo económico* (No. de venta: 1957.II.B.1).

² La documentación, que se enumera en los Anexos 4 y 5, comprende 20 informes generales de relator y 250 trabajos distintos. En el texto se mencionan estos documentos en forma abreviada, por sus siglas y números, de la manera siguiente: para informes, GR/1-20; para los distintos trabajos de sesión general y de sesión, II.D, GEN/1-15; para energía geotérmica, G/1-77; para energía eólica, W/1-40; y para energía solar, S/1-119.

los grupos segundo y tercero, y especialmente hacia el segundo por lo que se refiere al consumo de energía a largo plazo. Las tasas medias de crecimiento de las diferentes regiones confirmarían ese cambio (GEN/10).

Las necesidades de energía se satisfacen recurriendo a varias fuentes (que se analizan en el trabajo GEN/10), en especial el carbón y el petróleo. En este respecto influye mucho la disponibilidad de recursos energéticos, que están distribuidos en forma muy dispareja entre los países, hecho que tiene importancia trascendental para evaluar el futuro papel de las nuevas fuentes de energía. También refleja las diferencias en los usos finales de la energía, algunos de los cuales (tales como el transporte automotor) dependen de determinadas fuentes de energía que no son fáciles de sustituir.

La importancia relativa de las distintas fuentes de energía ha variado con rapidez. Los combustibles predominantes fueron primero los desechos agrícolas y la leña; luego, en rápida sucesión, aparecieron el carbón, el petróleo y el gas natural. Esta situación continúa en rápida evolución y posiblemente absorba a las nuevas fuentes. Pero no debe olvidarse que la producción y el uso de las formas tradicionales de energía también experimentan mejoras continuas, como lo demuestra el sugestivo análisis de Thacker (GEN/15). Entre esas mejoras figuran: la reducción de la evaporación en las represas, la introducción de turbinas reversibles para bombeo, las turbinas de contrapresión, las pilas electroquímicas, la conversión directa, las bombas caloríficas, la transmisión a voltajes más altos, la mejor distribución de la carga, la mejor utilización del carbón, el empleo de motores diesel para el transporte y el emplazamiento más racional de las industrias.

La modalidad del uso también tiene importancia para planificar el aprovechamiento de la energía. El uso puede dividirse en dos categorías fundamentales: como calor y como energía. De modo general, puede estimarse (GEN/10) que el uso de la energía primaria para obtener calor representa el 62% (33% en la industria y 29% en los hogares), y el uso para obtener energía el 38% (16% en la industria, 2% en los hogares, 19% en los transportes y 1% en la agricultura). Esta modalidad del uso varía mucho de un país a otro y de una región a otra de cada país, pero "en vista del indudable aumento de la productividad y del ingreso que origina la electrificación, puede afirmarse que, por lo menos en las regiones subdesarrolladas del mundo con el correr del tiempo la electricidad ocupará un lugar mucho más importante dentro del cuadro total de la energía" (GEN/10).

Para terminar puede señalarse que, precisamente por ser "nuevas", en la actualidad las nuevas fuentes sólo hacen una aportación insignificante al consumo total de energía en el mundo. Sus posibilidades dependen en gran parte de las conquistas técnicas recientes o previsibles. Aun así, desde un punto de vista global, la futura aportación de las

nuevas fuentes de energía tal vez nunca pase de ser pequeña. Sin embargo, no hay que menoscabar la importancia que tienen las nuevas fuentes para satisfacer las necesidades de energía en todo el mundo, sobre todo en las regiones subdesarrolladas.

LA ENERGÍA EN LOS PAÍSES SUBDESARROLLADOS

No hay un criterio de aplicación general para determinar la forma de planificar el abastecimiento de energía en los países subdesarrollados. Sus necesidades, así como la mejor manera de satisfacerlas, se han de investigar en cada caso (GEN/7).

Sin embargo, todos los países subdesarrollados presentan algunas características comunes que pueden examinarse brevemente, considerando primero las que se refieren a la electrificación y luego las situaciones que se producen en el plano local con respecto a otras aplicaciones de la energía. Estas situaciones se pierden de vista en los estudios generales que a veces se presentan; sin embargo constituyen, después de todo, las condiciones fundamentales que han de modificarse y mejorarse para poder elevar el nivel de vida y dar un fuerte impulso al desarrollo. Se trata de las situaciones en que las aplicaciones en pequeña escala y los procedimientos inusitados pueden resultar útiles.

Al considerar la situación de la energía eléctrica en los países subdesarrollados siempre ha de recordarse, en primer lugar, que ninguno de esos países posee actualmente una red nacional ni contará con ella probablemente en mucho tiempo. Las redes que existen están limitadas por lo común a sectores relativamente pequeños, tales como enclaves industriales y zonas periféricas de desarrollo en torno a las ciudades y puertos más grandes. Aunque los sistemas a menudo no están dotados de toda la capacidad instalada necesaria y son frecuentes los cortes de corriente, sí tienen bastante capacidad interconectada para garantizar un abastecimiento continuo de corriente a esas zonas, que muchas veces pueden compararse con los países industrializados. El factor de carga es relativamente elevado, y las tarifas que se cobran por la electricidad son razonables. En casos así, sólo el estudio comparativo de costos puede justificar el empleo de nuevas fuentes de energía.

Más típicas son las regiones donde hay centrales eléctricas aisladas, por lo general con una capacidad que varía de algunos centenares a algunos millares de kilovatios producidos por motores diesel, pequeñas turbinas hidráulicas o, últimamente, por turbinas de gas. Esas centrales, cuya interconexión por lo general no puede preverse sino a largo plazo, a menudo se establecen a raíz de la iniciación de explotaciones mineras modernas o de empresas manufactureras — y actualmente también por iniciativa del Estado en algunas regiones — antes de que se justificara la transmisión de corriente eléctrica a larga distancia. Debido a las pequeñas dimensiones de la central generadora, al elevado costo del combustible, al bajo factor de carga, o a

una combinación de estas circunstancias, los costos de la electricidad son elevados en esas regiones, variando entre 30 y 80 milésimas de dólar por kilovatio-hora, y siendo a veces aún más altos³. En estas regiones puede haber bastante margen para reducir los costos, sea introduciendo otras fuentes permanentes de energía, tales como la geotérmica (donde las posibilidades de consumo sean razonables), mediante aparatos que ahorran combustible utilizando la energía solar o la eólica, incluso en forma intermitente, o mediante una combinación de fuentes energéticas locales.

Sin embargo, hay una tercera categoría de regiones que son más representativas de las condiciones reinantes en los países subdesarrollados. Se trata de las regiones "remotas", donde no se genera electricidad en absoluto. La mayoría de la población de tales países vive en esas regiones. Estas pueden ser remotas en el sentido geográfico de la palabra, por estar en el interior de vastos territorios y ofrecer obstáculos prácticamente insuperables para la electrificación por los medios habituales, por lo menos durante largo tiempo; también pueden ser remotas en el sentido económico solamente, como sucede con frecuencia, sobre todo debido a la falta de medios de transporte. En este último caso existen mejores perspectivas de electrificación, siempre que la introducción de modernos medios de transporte o el desarrollo del comercio y la industria creen una demanda de energía que justifique la instalación de líneas de transmisión o de centrales⁴. Sin embargo, estas regiones son tantas que en la mayoría de ellas habrá que esperar mucho tiempo para que esto ocurra, aunque sólo sea porque la electrificación rural en gran escala requeriría recursos financieros y técnicos muy superiores a los de la mayor parte de los países subdesarrollados.

Puede darse idea de la situación con algunas cifras relativas a la India, que cabe citar como ejemplo típico de una economía agrícola y minera. Aun con una industrialización y urbanización aceleradas, incluso en 1981, según lo señala Kapur (GEN/8), el 75% de la población total de la India — o sea 480 millones de habitantes — vivirá en pequeñas comunidades agrícolas. Ya se han hecho grandes progresos. Todas las ciudades — salvo dos — con más de 20.000 habitantes ya están "electrificadas", y de conformidad con el tercer plan quinquenal que terminará en 1966 todos los pueblos de más de 5.000 habitantes (según el censo de 1951 había 4.542 de esos pueblos) contarán con algunos servicios de abastecimiento eléctrico. También se han logrado progresos en la electrificación de las

aldeas (menos de 5.000 habitantes), donde vive la mayor parte de la población; el número de ellas que cuentan con tales servicios se ha elevado de unas 2.800 en 1951 a 15.400 en 1961 y se espera que siga aumentando hasta llegar a unas 29.500 en 1966. Sin embargo, ese aumento aún dejará unas 527.000 aldeas o comunidades agrícolas sin electricidad, incluso dentro de cinco años (GEN/8).

En vista de las condiciones prevalecientes en las regiones subdesarrolladas, no cabe duda del mejoramiento de las condiciones de vida que resultaría si se pusiera a disposición del campesino electricidad o alguna otra forma de energía, aunque sería difícil determinar los valores económicos exactos que se crearían con ello. Actualmente ese campesino por lo general quema estiércol o combustibles parecidos para cocinar sus comidas, y se vale principalmente de la energía humana o animal para ejecutar sus tareas.

En realidad, la cuestión no consiste en saber si las nuevas fuentes de energía pueden competir económicamente con las habituales, sino si pueden aprovecharse con eficacia o si, en su defecto, tales regiones carecerán de todo abastecimiento de energía. Kapur (GEN/8) ha evaluado en detalle, cuantitativa y cualitativamente, la energía que hace falta para mejorar la productividad y el ingreso per cápita de una comunidad rural india de 1.000 habitantes, prestando especial atención a la posibilidad de utilizar la energía solar, y haciendo cálculos sobre costos, empleo e ingresos. En su trabajo expone francamente problemas financieros y de formación profesional que esto supone. Golding (GEN/5) también ha formulado un plan para generar energía, a base de recursos locales, para una aldea de 20 a 30 familias, teniendo en cuenta las características de la energía solar, de la eólica y de otras fuentes de energía, el costo de aprovechar cada una de ellas, los probables factores de carga y su distribución en el tiempo. Si bien los planes de esta naturaleza se encuentran todavía en la fase teórica, dan idea de cuál es la realidad de la situación en materia de energía y sirven de base para la introducción de las nuevas fuentes con un amplio carácter experimental.

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LAS NUEVAS FUENTES DE ENERGÍA

Para comprender mejor estas características principales, es útil recordar primero, brevemente, el carácter esencial de la energía geotérmica, de la eólica y de la solar, y examinar a grandes rasgos los procedimientos empleados para aprovechar cada una de ellas. Estos aspectos se tratarán con mayor detalle en secciones posteriores del presente informe después de mencionar las características principales de las tres nuevas fuentes de energía, tanto las que tienen en común con otras fuentes de energía como las que sirven para distinguirlas entre sí y para distinguirlas de las demás.

Para poder utilizar la energía geotérmica — vapor o agua caliente naturales — "se requiere por

³ Los costos de producción de electricidad en los países industrializados fluctúan por lo general entre 4 y 10 milésimas de dólar por kilovatio-hora.

⁴ Podría establecer una categoría subordinada de regiones remotas para incluir a aquellas que actualmente están poco pobladas pero que pueden desarrollarse en caso de crearse posibilidades económicas interesantes, como ser un descubrimiento minero. En tales casos, en el plan inicial de desarrollo se preveía el abastecimiento de electricidad, con lo cual el problema se reduciría a escoger el sistema menos costoso.

lo general una combinación bastante fortuita de grandes masas calientes de roca fracturada o porosa a una profundidad no superior a unos cuantos miles de pies, una masa natural de agua para esta fuente de calor, y una capa de roca impermeable entre la zona caliente y la superficie. Si se perforan pozos hasta alcanzar este material caliente puede obtenerse vapor o una presión de varios cientos de libras por pulgada cuadrada, de la misma manera como se produce el gas natural. Habiendo cierto número de pozos y de dispositivos para la captación del vapor, puede hacerse funcionar una central eléctrica compuesta principalmente de una turbina de vapor, un condensador y un generador eléctrico" (GEN/10). La temperatura del vapor natural varía entre 100° y 300° C. en la boca del pozo; el vapor o el agua caliente pueden utilizarse directamente para sistemas de calefacción y de agua caliente, por ejemplo, sin que sea preciso emplearlos en la producción de electricidad. Sin embargo, esta forma de utilización directa está sujeta a las limitaciones prácticas que impone la transmisión.

La energía eólica es la energía cinética presente en una columna de aire en movimiento. Esta energía se intercepta mediante un rotor o hélice que la transforma en energía mecánica para su aprovechamiento directo, o bien, como suele hacerse ahora, para hacer funcionar un generador eléctrico. Los elementos básicos que determinan la energía que se puede obtener son la velocidad del viento, la superficie abarcada por el rotor y la eficiencia de conversión de la instalación. Los molinos de viento se gradúan para que logren su producción máxima a cierta velocidad del viento, a la cual pueden extraer la energía eólica con una eficiencia total del 35 % al 40 %, en comparación con una eficiencia máxima teórica de casi el 60 %.

La energía solar se recibe en forma de irradiación energética, que se aprovecha mediante procesos básicos de conversión clasificados en dos grupos generales, según que utilicen el calor o la luz. Los procesos térmicos, a su vez, pueden clasificarse según la temperatura obtenida. Las temperaturas bajas, que sirven para calentar agua y para calefacción o para la destilación del agua de mar, son las más fáciles de obtener mediante colectores de planchas planas recubiertos de una sustancia negra para absorber la radiación que calienta el agua, o mediante cualquier otro procedimiento para transferir el calor. Las temperaturas más elevadas requieren lentes o espejos ustorios, que sólo captan la radiación solar directa y deben reorientarse con frecuencia con respecto al sol. Este calor puede utilizarse de muchas maneras, incluso para mover motores, y hasta puede convertirse directamente en electricidad mediante generadores termoeléctricos sin pasar por la fase de energía mecánica. La radiación solar que llega en forma de luz también puede convertirse directamente en electricidad por medio de células fotoeléctricas, en virtud del mismo fenómeno que se produce en el proceso fotoquímico

llamado fotosíntesis, base de la vida de todas las plantas. También se han ideado procesos fotoquímicos artificiales, que tienen mucho interés pero rebasan los límites de esta Conferencia porque todavía no se ha tenido éxito en la búsqueda de reacciones controlables y prácticas que ofrezcan la posibilidad de acumular energía y de producir calor útil, o, lo que sería mejor aún, de producir corriente eléctrica.

Las características principales de las nuevas fuentes de energía han sido bien catalogadas por Angelini (GEN/1) y examinadas con cierta amplitud sobre todo por Netschert y Löf (GEN/10) y, por supuesto, en forma detallada en los trabajos técnicos. Aquí las consideramos únicamente en la medida en que influyen en el valor económico general de las fuentes de energía analizadas, en los procedimientos técnicos utilizados para su aplicación y en las finalidades que se persiguen.

La característica más interesante es quizás la que se refiere a la constancia y continuidad del suministro de energía. La energía geotérmica se presenta en forma continua, en tanto que la solar y la eólica sólo ofrecen un suministro intermitente y plantean así el problema del almacenamiento o de la combinación con otras fuentes de energía cuando es preciso satisfacer una demanda ininterrumpida o cuando la demanda no puede reajustarse a las vicisitudes cronológicas del suministro. La energía solar sólo puede obtenerse durante las horas diurnas que varían con las estaciones, al paso que los colectores están muy supeditados a los caprichos de las condiciones atmosféricas. La disponibilidad de energía eólica no puede predecirse nunca en forma segura para un momento dado, pero por lo general acusa en un lugar determinado poca variación de un año a otro e incluso entre períodos más cortos.

La perduración de la fuente es otra característica importante. Por lo menos la energía solar y la energía eólica son inagotables, es decir que son renovables en su carácter de energía "comercial", como la hidroeléctrica. Es posible que entre las características de la energía geotérmica se encuentre la de un agotamiento comparable en cierto modo al de las fuentes habituales de energía no renovables, pero este aspecto no está claro, pues los expertos ahora señalan como fuente principal de suministro una reacumulación por filtración de agua, y también en algunos casos hay indicios de un aumento de temperatura en vez de una disminución cuando se extrae vapor de los depósitos. Además, estas tres fuentes no tienen otra utilidad que la del aprovechamiento de la energía y, por lo tanto, pueden servir más adelante para reservar a otras aplicaciones los recursos habituales susceptibles de agotarse.

La magnitud de la radiación solar sobre la superficie de la tierra es enorme, y también lo es la fuerza total del viento. Como ha señalado Ailleret (GEN/12), el viento y el sol representan cada uno una energía del orden de un kilovatio por metro cuadrado, o sea 10.000 veces la "densidad" total

del consumo de energía, incluso en los países más industrializados; por consiguiente, desde un punto de vista puramente teórico, podrían satisfacer un gran aumento de las necesidades, incluso con una baja eficiencia de conversión. La cantidad de energía geotérmica disponible es menos conocida, pero a juzgar por los indicios en la superficie de la tierra, como ser los manantiales calientes, que son muchos pero en gran parte están inexplorados, bien pudiera ser que las reservas fueran mucho mayores de lo que por lo general se cree. Sin embargo, hemos de estar en guardia contra posibles ilusiones al hablar de cantidades disponibles, y hemos de recalcar la diferencia entre disponibilidad material y disponibilidad económica; ésta varía constantemente con el adelanto técnico y está muy supeditada a los costos de instalación y explotación así como a otros factores económicos propios de cada país.

Con respecto a la distribución geográfica y a las condiciones de emplazamiento, debe observarse que la energía geotérmica se encuentra concentrada en un número limitado de regiones que no siempre se caracterizan por la necesidad y la escasez de energía. Como la energía hidroeléctrica, la geotérmica solo puede explotarse en lugares determinados estrictamente por las condiciones geológicas y geográficas; por supuesto, una vez convertida en electricidad se la puede transportar a distancias considerables, en tanto que el vapor o el agua caliente sólo puede llevarse por tuberías a distancias limitadas (de 15 a 45 kilómetros, como en Islandia) sin una pérdida seria de energía. El aprovechamiento de la energía solar está limitado sobre todo a la faja comprendida entre las latitudes 40° norte y 40° sur, pero permite un amplio margen en la elección de los emplazamientos. La energía eólica también puede utilizarse con facilidad en muchos lugares, pues no está limitada a ninguna zona climática especial, pero exige cierto cuidado en la elección de los emplazamientos a fin de obtener los mejores resultados.

Puede decirse que los conocimientos técnicos aplicables al aprovechamiento de las nuevas fuentes de energía todavía se encuentran en una fase relativamente incipiente de su desarrollo. Sin embargo,

se cuenta con equipo muy adecuado por lo menos para la energía geotérmica; existe una considerable variedad de equipos destinados a la utilización de la energía eólica, pero en cambio se han hecho menos adelantos en las aplicaciones de la energía solar.

Por lo que respecta al tamaño de la instalación puede decirse que las nuevas fuentes de energía permiten una gran flexibilidad. La energía solar y la eólica pueden aprovecharse en instalaciones de pequeña capacidad, hasta de una fracción de kilovatio, por lo cual se prestan especialmente para satisfacer las necesidades limitadas de las granjas aisladas o las comunidades pequeñas. En las grandes instalaciones de energía eólica se obtienen economías de escala sólo hasta cierto punto (tal vez de 1.000 a 2.000 kilovatios), en tanto que la capacidad de aprovechamiento de la energía solar aumenta por lo común en proporción directa al tamaño de los colectores y, por consiguiente, ofrece poca economía de escala. El tamaño de las instalaciones geotérmicas depende sobre todo de las condiciones en que se presenta el vapor natural, pero varía desde unidades pequeñas sin condensadores — que están limitadas económicamente a un tamaño mínimo de unos 1.000 kilovatios — hasta instalaciones muy grandes dotadas de unidades múltiples de 25 a 30.000 kilovatios cada una, que permiten una economía en el costo y en el consumo de vapor por unidad de producción.

Por último, entre los aspectos económicos más importantes, ha de señalarse que la utilización de cada una de estas tres fuentes de energía exige una inversión inicial de capital relativamente cuantiosa, en tanto que los costos de explotación son mínimos. Por consiguiente, el costo de la energía útil obtenida de las nuevas fuentes, tal como ocurre con la energía hidroeléctrica, depende más que nada de los costos fijos (interés y amortización) a que da lugar la inversión de capital. Por esto lo esencial es tratar de reducir a un mínimo los costos iniciales, y de obtener la máxima duración del equipo. Por el mismo motivo, deben emplearse hasta donde se pueda la mano de obra y las materias primas locales, a fin de que los gastos en divisas sean lo más bajos posibles.

ENERGIA GEOTERMICA

Utilización actual y zonas de interés — Prospección de campos geotérmicos y procedimientos para evaluar su capacidad — Captación de la energía geotérmica — Costos y limitaciones de la conducción por tuberías — Producción geotérmica de electricidad — Calefacción y procesos térmicos mediante la energía geotérmica — Recuperación de productos químicos y planes combinados

UTILIZACIÓN ACTUAL Y ZONAS DE INTERÉS

La utilización práctica de la energía geotérmica — para la producción de electricidad, la calefacción, los procesos térmicos y la recuperación de productos químicos contenidos en el vapor — ya es una realidad, y una realidad muy económica.

La producción geotérmica de electricidad, a la que se llegó después de un siglo en que sólo se recuperaba ácido bórico y otros productos químicos del vapor, se remonta a experimentos realizados en 1904 y sobre todo en 1912, cuando se instaló en la localidad toscana de Larderello (Italia) la primera turbina con una capacidad de tan sólo 250 kilovatios. A esto siguió una evolución gradual, y últimamente muy rápida, hacia la producción de electricidad. Con sus instalaciones auxiliares, la capacidad total de Larderello pasa de 300.000 kilovatios, distribuida entre una docena de centrales cuyo potencial varía de 3.500 a 118.000 kilovatios; éstas producen más de 2.000 millones de kilovatios-hora al año, o sea lo suficiente para hacer funcionar el sistema ferroviario italiano, que en realidad obtiene unos dos tercios de su energía de estas fuentes; el otro tercio de la producción de Larderello se utiliza para fines industriales y de otra naturaleza. La excelencia y alta producción de la fuente queda demostrada por el hecho de que la central más grande, con una capacidad neta de 100.000 kilovatios, ha estado funcionando en forma continua y con un factor de utilización de más del 90% durante más de un decenio (G/72).

Diversos países han seguido el ejemplo italiano en los últimos años, y cada vez hay más centrales que se encuentran en diversas fases de preparación. En marzo de 1960 empezó a producir una central de energía geotérmica instalada en Wairakei — en la Isla Norte de Nueva Zelanda — con una capacidad de 69.000 kilovatios que obtiene de esta fuente alrededor del 10% de su energía; la capacidad bruta se está ampliando actualmente a 192.200 kilovatios, a fin de satisfacer para 1963 alrededor de una quinta parte de las necesidades de energía de la citada isla, y se han trazado planes

para un nuevo incremento de 90.000 kilovatios en una tercera etapa (G/4). Los Estados Unidos también se convirtieron en un productor de energía geotérmica en junio de 1960, al quedar terminada una central de 12.500 kilovatios en The Geysers (California); como la experiencia adquirida ha sido favorable (G/41) se piensa duplicar su capacidad para 1963, y hay otros proyectos en curso en el oeste de los Estados Unidos. Otras instalaciones comprenden: una central de 3.500 kilovatios situada en Pathé (México) como resultado de las perforaciones iniciadas en 1955 (G/77); una central de 275 kilovatios en la región minera de Katanga (Congo); y centrales experimentales (de 30 kilovatios cada una instaladas en 1951 y 1960) en Beppu y Hakone, en el Japón, país donde la energía geotérmica probablemente desempeñará un papel cada vez más importante en vista del aumento de la demanda, de los problemas de producción del carbón, de la falta de petróleo y de los elevados costos de los combustibles (G/57). En la vecina Kamchatka (Unión Soviética) se han efectuado muchas perforaciones en los tres últimos años con miras a la producción de energía (G/48).

Otro ejemplo de producción de energía geotérmica con posibilidades competitivas y ventajas especiales es el que ofrece Islandia, donde están muy adelantados los planes para una central de 15.000 kilovatios (netos) que debe empezar a funcionar en 1964. Islandia es rica en recursos hidroeléctricos, pero a causa de factores físicos, la central hidroeléctrica práctica más pequeña que podría agregarse incrementaría de un golpe la capacidad en un 40%, al paso que las estaciones geotérmicas pueden construirse en escala más pequeña y ajustarse al crecimiento de la demanda (G/9).

Por otra parte, en Islandia la energía geotérmica se aprovecha más para la calefacción y para otras finalidades térmicas. Actualmente, 45.000 personas — esto es, la cuarta parte de la población — viven en casas provistas de calefacción a base del calor natural conducido por tuberías desde los campos geotérmicos; además, estas fuentes proporcionan agua caliente, calefacción para grandes inver-

náculos y piscinas de natación, y calor para fines industriales. Su empleo ya representa un ahorro anual de 60.000 toneladas — o sea 350 kilogramos per cápita — de *fuel oil* importado, y se espera que estas cifras aumenten a más del doble para 1970 (G/37).

También se encuentran aplicaciones del calor en otros países, a saber: en fábricas de pulpa y de papel, y en hospitales, hoteles y escuelas de Nueva Zelandia (G/52), en la producción de sal en el Japón (G/7) y posiblemente también en Islandia (G/27), y en forma fragmentaria en los Estados Unidos, la Unión Soviética y otros países.

Así, pues, el actual aprovechamiento práctico se encuentra en gran parte en países relativamente industrializados. Esto no ha de considerarse como prueba de que el aprovechamiento quedará o debe quedar limitado a estos países; por el contrario, con el grado necesario de comprensión, exploración y esfuerzo, la energía geotérmica puede llegar a encontrar una aplicación importante en los países menos desarrollados, muchos de los cuales parecen contar con recursos geotérmicos considerables, habiéndose ya iniciado en algunos una exploración más o menos intensa. Al mismo tiempo, las actividades pueden ampliarse en los países industrializados con la exploración de nuevas regiones, como las de Italia (G/65), Nueva Zelandia (G/17) y los Estados Unidos (G/48).

Debido a lo limitado de las exploraciones emprendidas hasta la fecha, se sabe relativamente poco de la magnitud y posibilidades de los recursos geotérmicos de los países menos desarrollados. Sin embargo, en la Conferencia se dieron a conocer interesantes exploraciones, por ejemplo, para la búsqueda de nuevas regiones en México (G/77), así como en El Salvador, donde se espera contar con bastante vapor para justificar la construcción de una central geotérmica de 50.000 a 100.000 kilovatios (G/11). Otro caso (G/12) es la investigación preliminar emprendida en la zona de Rabaul en la Nueva Bretaña, que prevé la construcción de una central con capacidad inicial de energía geotérmica en los primeros ocho años de 5.000 kilovatios para llegar finalmente a 20.000; se ha acometido este estudio por considerar que un programa hidroeléctrico sería costoso, sobre todo en las fases iniciales de la demanda de energía. También se han emprendido, proyectado o considerado provisionalmente otras exploraciones, por ejemplo, en Nicaragua, en Santa Lucía de las Indias Occidentales, en la región andina de la Argentina, en la región de Tatio (Antofagasta) de Chile, en Kenia, en Uganda, en Viti y, antes de la guerra, en Indonesia. Se sabe que varios países más presentan, por lo menos en la superficie, indicios favorables de manantiales calientes, a veces en gran número; en realidad, parece que en casi todos los países hay manantiales calientes, de los cuales se han investigado muy pocos desde el punto de vista de la energía geotérmica y con miras a su posible aprovechamiento.

En términos generales, las zonas que parecen tener mayor interés por sus probables recursos geo-

térmicos pueden agruparse en varias grandes fajas. Una de ellas se extiende desde Kamchatka, pasando por el Japón, Filipinas, Indonesia y Nueva Bretaña, hasta Nueva Zelandia. Otra faja puede trazarse siguiendo el curso de las montañas Rocosas y la cordillera de los Andes, o sea, desde Alaska, a lo largo de la costa occidental de la América del Norte (lo que incluye, por supuesto, los géiseres del Parque de Yellowstone), pasando por México y El Salvador, hasta todo Chile. Una tercera y amplia faja se encuentra en la gran fosa tectónica de África llamada Great Rift, que pasa por Etiopía, Kenia, Uganda, Tanganyika y el Congo oriental. Han de agregarse cierto número de islas, tales como Islandia y las Azores en el Atlántico y Hawaii y Viti en el Pacífico y, naturalmente, zonas aisladas como las de Italia, Argelia y otras.

Es tentador inferir de lo dicho que la energía geotérmica debe encontrarse en las regiones volcánicas. En realidad, es cierto que las zonas volcánicas son favorables para la exploración, pero esto no significa que, como suele creerse, la energía geotérmica explotable esté limitada a esas regiones, según lo demuestra el caso de la región de Larderello, que es el ejemplo clásico de una zona geotérmica no volcánica. En efecto, cabe distinguir tres clases de zonas: las del tipo de Wairakei, vinculadas a volcanes activos; las que tienen una masa magmática que llega a la superficie y están basadas en volcanes extintos, como las de la región de Monte Amiata en Italia; y las regiones no volcánicas del tipo de Larderello (G/67) con intrusiones plutónicas de magma relativamente caliente a poca profundidad.

Otra consideración fundamental, que vale la pena mencionar aquí y que se examinó a fondo en la Conferencia, se refiere a la procedencia del agua que se lleva el calor y a la cuestión conexas de determinar si la fuente de calor es inagotable o si por lo menos tiene probabilidades de durar mucho tiempo. Parece existir acuerdo en que casi todo el vapor y el agua caliente — del 90% al 95% — son de origen meteórico (G/2), esto es, que proceden del agua superficial que se calienta al penetrar los terrenos por filtración; el resto, que en el caso de Wairakei es del 8% al 10% según lo indica el nuevo procedimiento del estudio de isótopos (G/31), podría ser magmático, es decir, proveniente del interior de la tierra. La reacumulación de agua procedente de la superficie supone la necesidad de una infiltración adecuada, por lo menos a largo plazo, para sustituir el volumen de agua caliente extraída de los pozos, y plantea la cuestión de saber cuánto tiempo lleva esta circulación del agua. La edad del agua en Larderello pasa de los cuarenta años (G/12), mientras que en Wairakei se cree que el tiempo de circulación en un sentido es de poco menos de cincuenta años (G/31). Si se extrae la capa superior de agua caliente a velocidad mayor que la de la circulación natural, es evidente que el rendimiento disminuirá. En realidad, es difícil estimar la vida útil de un pozo. En Larderello, la

vida media de un pozo de vapor es de unos veinte años, y hay varios que siguen estando activos después de más de treinta años (G/62).

Con el tiempo, la capa de agua caliente puede perder así su volumen, aunque no por el simple proceso de agotamiento que se observa en los campos petrolíferos, y puede enfriarse, especialmente si el retiro de los fluidos calientes provoca intrusiones de agua fría (lo que hasta ahora no parece constituir un problema). Sin embargo, de ningún modo es seguro que la extracción dé lugar a una baja de la temperatura; por el contrario, el aprovechamiento de una capa puede hacer subir calor de niveles más profundos y más calientes. En efecto, se han comprobado aumentos de la temperatura en Nueva Zelanda (G/54) y en Larderello; en este último lugar la temperatura del vapor ha aumentado en unos 40° C durante los últimos cuarenta o cincuenta años (G/62).

La circulación del agua no sólo influye en el volumen sino también en la clase de producción del pozo. En Larderello y en los Géysers de California los pozos producen vapor a muy alta temperatura, mientras que en Wairakei y en Islandia producen una mezcla de vapor y agua hirviendo; por lo menos para la producción de energía eléctrica, esto crea el problema de la separación previa del vapor (del 10% al 20% en peso) del agua caliente, que a su vez puede transformarse en vapor en recipientes al vacío (G/13). En el vapor puede haber también un contenido relativamente elevado de gases, como en el caso de Larderello (aproximadamente el 5% del peso y aún mucho más en los nuevos pozos del Monte Amiata); esto tiene el importante efecto de determinar el tipo de central que ha de utilizarse, que se compensa hasta cierto punto por las posibilidades de recuperación económica de los productos químicos de los gases.

Todos estos factores y muchos otros que se tratan en los trabajos técnicos dificultan la evaluación precisa del potencial de energía, incluso en los campos en explotación, y son pocos los cálculos que se han hecho al respecto.

Si bien queda mucho por averiguar, incluso sobre los campos que ya se explotan, las técnicas para la prospección de nuevos campos y la evaluación de su capacidad se han desarrollado muchísimo y pueden adaptarse fácilmente a la búsqueda de nuevas zonas. Lo mismo ocurre con las técnicas y el equipo para la captación y utilización en etapas posteriores.

PROSPECCIÓN DE CAMPOS GEOTÉRMICOS Y PROCEDIMIENTOS PARA EVALUAR SU CAPACIDAD (GR/3)

Como los recursos de energía geotérmica son subterráneos, deben efectuarse algunas investigaciones para poder adoptar las debidas decisiones sobre su utilización y sobre los nuevos gastos que hayan de efectuarse. Doyle y Studt (G/55) observan que "las investigaciones deben necesariamente guardar relación con la magnitud del proyecto previsto; en el

caso más sencillo bastará con hacer una sola perforación, cuyo emplazamiento podrá determinarse mediante una observación del terreno; pero cuando se trata de proyectos mayores es preciso emprender amplias investigaciones".

Según los mencionados autores pueden distinguirse las seis etapas siguientes: 1) estudios regionales — topográficos, geológicos, geofísicos, etc. — para conocer el medio; 2) reconocimientos preliminares, que han de incluir los relativos a la ubicación de la población y la industria; 3) estudio cabal sobre el terreno, si la investigación previa lo justifica, por grupos de especialistas; 4) realización de pruebas, con inclusión de un mayor número de perforaciones, que son lo único que puede proporcionar una prueba definitiva; 5) construcción de las instalaciones; y 6) etapa de producción, durante la cual deben continuarse las mediciones e investigaciones para la adecuada explotación y aprovechamiento del campo. Las cuatro primeras etapas comprenden respectivamente la obtención de los datos geológicos, la evaluación cualitativa, una amplia evaluación cuantitativa y la confirmación o rectificación de las evaluaciones preliminares.

Las condiciones y características — principalmente las de índole geológica propias del ambiente geotérmico — que deben investigarse, comprenden las siguientes (G/65): la existencia de anomalías térmicas, cuya determinación es indispensable y que pueden manifestarse, aunque no necesariamente, en la superficie por el calor del terreno, por la emisión natural de vapor libre o de agua caliente como en las fuentes termales, y por la presencia de ciertos productos químicos normalmente relacionados con la actividad hidrotérmica; la presencia de una capa sumamente impermeable cerca de la superficie, que protege el estrato caliente; la presencia de un estrato sumamente permeable, que constituye la capa de ebullición, al que pueda llegarse mediante una perforación económica; y la presencia de una base más o menos antigua de roca fracturada, que deja pasar el calor al estrato permeable al que se llega abriendo un pozo a través de la capa impermeable superior. Las fuentes termales y los géysers que, en cierto sentido, constituyen pozos naturales, no son en sí mismos muy convenientes, salvo como indicación de la fuente, pues constituyen escapes de vapor o de agua y por lo tanto pueden ocasionar una reducción de la presión y la temperatura.

Actualmente se cuenta con una serie de instrumentos para descubrir, medir, sacar muestras, y analizar las condiciones y características necesarias para un eficaz aprovechamiento geotérmico. Además de los medios corrientemente usados en geología, fotogeología y topografía, se recurre a los más modernos de la geofísica, la geoquímica, la hidrogeología, la hidrodinámica, la termofísica y la química, a menudo adaptándolos especialmente a las necesidades que plantean los campos geotérmicos. Todos estos medios se describen detalladamente, desde el punto de vista de los métodos y de

los estudios por casos, en los documentos técnicos; por lo tanto no es preciso describirlos aquí y basta poner de relieve, como en la Conferencia, el uso eficaz de los métodos eléctricos de prospección geofísica para el descubrimiento de campos. Debidamente elegidos y aplicados, esos métodos sirven para evaluar la energía disponible y para seleccionar un sistema racional de operaciones. Es preciso proceder con suma cautela en su selección y aplicación, pues la obtención de datos erróneos podría tener como consecuencia un gran desperdicio de capital. Por otra parte, los estudios geofísicos y de otra índole correctamente hechos darán pleno rendimiento, aunque sólo permitan eliminar una pequeña parte de las perforaciones improductivas.

Los instrumentos han de ser utilizados por personal debidamente capacitado. Desde luego, el número, la composición y la organización de ese personal variará según la escala de las investigaciones, la disponibilidad de organizaciones ya existentes y la circunstancia de que el gobierno o la empresa de que se trate establezca su propia organización o bien contrate a consultores y empresas privadas para una gran parte de los trabajos de las diversas etapas. Como ejemplo de una organización sumamente amplia puede citarse el caso de Nueva Zelandia (G/55), donde el Departamento de Investigación Científica e Industrial (DICI) proporciona servicios en materias tales como geología, geofísica, química, física y metalurgia, bajo la dirección de un coordinador científico; el Ministerio de Obras Públicas ejecuta los trabajos de perforación y está a cargo de la investigación y de la construcción de obras en las zonas geotérmicas en que el Gobierno está directamente interesado (G/40); el Departamento de Electricidad toma a su cargo las centrales y las instalaciones eléctricas construidas. En Larderello todas esas funciones están a cargo de diversas dependencias de la compañía Larderello, entidad autónoma que cuenta con unos 2.000 empleados.

Volviendo al ejemplo del DICI, esta entidad cuenta, desde hace diez años, con un grupo de diez a veinticinco profesionales y asistentes para trabajos de geotérmica, a un costo medio de unas 2.000 libras esterlinas por año-hombre. En 1960 los gastos de las investigaciones del DICI ascendieron a 44.000 libras, es decir, algo menos del costo de una perforación de 900 metros hecha con fines de investigación, mientras que el total de los gastos que ha hecho hasta la fecha en la región importan unas 350.000 libras, o sea poco menos de un millón de dólares (G/55). Pero debe observarse que en esas cifras no se incluyen los gastos de perforación, ingeniería y otros sufragados por el Ministerio de Obras Públicas, que son muy superiores, y que las diferentes organizaciones de Nueva Zelandia pueden recurrir las unas a las otras para diversos servicios. Otro ejemplo en materia de costos es el caso de México, donde se han gastado 640.000 dólares en investigaciones geotérmicas, incluida la perforación de dieciséis pozos (G/77).

CAPTACIÓN DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA (GR/4)

La etapa de prospección habrá preparado el camino para la de captación, durante la cual el vapor o el agua caliente se traen a la superficie mediante pozos de producción. Esta etapa comprende una serie de fases, especialmente la planificación de los trabajos de perforación, la perforación propiamente dicha, la terminación y el mantenimiento de los pozos. Estas fases llevan aparejados diversos factores y problemas, todos los cuales tienen considerable influencia en los costos de producción del pozo y, en definitiva, en el costo de la energía útil obtenida.

El número de pozos que se necesitarán para conseguir un determinado rendimiento en energía eléctrica no puede especificarse por adelantado. Los pozos varían en cuanto a sus características de rendimiento, así como con respecto a la cantidad de vapor, a la temperatura, a la presión y el comportamiento a largo plazo. Algunos serán un fracaso. En total se han perforado probablemente unos 1.000 pozos geotérmicos en el mundo para diversos fines, incluso el gran número de ellos perforados en el Japón con fines de investigación. En la región de Larderello, por ejemplo, se han perforado unos 380 pozos, de los cuales 160 se encuentran actualmente en producción alimentando a centrales eléctricas (G/65), mientras que en los Géiseres de California cuatro de los doce pozos perforados durante los últimos años alimentan a una central de 12.500 kilovatios (G/51). En Islandia, donde se han perforado muchos pozos para fines de calefacción, se cree que se necesitarán siete u ocho para la central de 15.000 kilovatios que se ha proyectado, y en Wairakei se han abierto un centenar de pozos por un total de más de 50.000 metros de profundidad (G/49).

Desde luego, el emplazamiento de los pozos lo determinan principalmente los factores físicos, aunque también suelen tenerse en cuenta la accesibilidad y otros factores de conveniencia. Entre los pozos debe haber espacio suficiente para que las operaciones respectivas no se entorpezcan mutuamente.

El equipo y los métodos de perforación son básicamente los utilizados en las perforaciones petroleras, si bien se requieren algunas adaptaciones por las altas temperaturas que se encuentran y por otros problemas tales como las explosiones o escapes violentos de vapor activo encerrado. Como se describe con gran detalle en los documentos técnicos, se han encontrado soluciones especiales con la adaptación de los fluidos de perforación, mecanismos para prevenir explosiones, y otros medios.

A veces se encuentran temperaturas de hasta 300° C⁵ que plantean problemas especiales en el

⁵ En un caso especial de perforación en un lago de lava incandescente de Hawaii para su posible empleo en la producción de energía eléctrica y en la realización de experiencias simulando condiciones similares a las de una explosión atómica subterránea, los taladros resistieron temperaturas superiores a los 1.000° C. (G/5).

acabado de los pozos y que exigen que se preste atención particular en cuanto al revestimiento, la cementación, la perforación del pozo y el equipo para separar el agua del vapor y eliminar las impurezas. También se han ideado varios silenciadores (G/18) para reducir o eliminar el ruido intolerable que puede producir la salida violenta del vapor de los pozos, y que por otra parte puede dañar irreparablemente el oído de los que trabajan en las inmediaciones.

Una vez terminado un pozo, deben iniciarse varias mediciones, que seguirán haciéndose con carácter permanente. Durante toda su vida útil deben verificarse inspecciones periódicas y a veces reparaciones, por ejemplo, para evitar que las averías del revestimiento lleguen al extremo de provocar una explosión. La sedimentación de sustancias químicas también puede plantear problemas, como ocurre con las calcitas en Irlanda (G/9), y pueden exigir operaciones periódicas de perforación y limpieza para impedir que los pozos se obstruyan y pierdan capacidad.

Los costos de perforación y acabado de los pozos varían notablemente. En parte, dependen de la profundidad, y ésta a su vez del espesor de la capa impermeable. Las profundidades varían de 300 a 1.600 metros en Larderello (G/71), de 450 a 900 en Wairakei (G/40), de 300 a 2.200 en Islandia (G/36), de 200 a 800 en Kamchatka (G/48), de 160 a 300 en Los Géiseres (G/51), pasan de 600 en México (G/57) y llegan a los 900 en el Japón (G/57).

En algunos de los trabajos técnicos se dan cálculos sobre los costos de los pozos, con bastante detalle sobre componentes, profundidad, diámetro, etc. Sin repetir las diversas salvedades hechas por los autores, puede observarse que el costo total de un pozo se calcula de 41 a 56 dólares por metro en Islandia (G/36), de 73 a 133 en Larderello (G/71), de 130 a 200 en Los Géiseres (G/51) y en unos 160 en Wairakei (G/40). En Islandia el bajo costo se debe en parte a la índole de la perforación y a la necesidad de usar menos revestimiento, incluso en los pozos profundos. Teniendo en cuenta la profundidad, la inversión total en un pozo varía entre 20.000 y 140.000 dólares. A esto ha de añadirse el costo de las tuberías hasta la central eléctrica, y por supuesto, el de la central misma.

La depreciación de la inversión en el pozo, uno de los principales factores del costo de la energía que proporciona, depende de la vida útil del pozo, que es el elemento más incierto de todos. Como hemos visto, la vida de un pozo en Larderello es de una veintena de años (G/62); la experiencia adquirida en otros lugares es demasiado breve para poder fijar una cifra. En estas circunstancias, lo conveniente sería considerar un período de amortización bastante breve, por ejemplo de cinco años, para ser muy cautos, a menos que las características sean tales que permitan prever un período mayor, por ejemplo de 10 años (G/62). En los planes de Islandia, por ejemplo, los costos se calculan a base de cinco años de vida (G/9), mientras

que "en Wairakei el período de amortización de todos los bienes es de 20 años, basándose esta cifra en la hipótesis de que la vida de los pozos será de 10 años (GR/4).

La organización de la perforación y el mantenimiento de los pozos y de las actividades auxiliares es, por supuesto, muy variada en sus alcances y detalles. En el caso de Wairakei, el Ministerio de Obras Públicas de Nueva Zelanda mantiene un personal de ochenta y cuatro funcionarios y 234 operarios, que comprenden gran variedad de especialistas y de funciones (que se detallan en G/40); en los primeros diez años se gastaron unos 6.500.000 dólares en los pozos que se encuentran allí en producción.

COSTOS Y LIMITACIONES DE LA CONDUCCIÓN POR TUBERÍAS

Por lo general, una vez que el vapor natural o el agua caliente se han llevado a la superficie, es preciso conducirlos por tuberías hasta el lugar donde han de utilizarse para la generación de electricidad o para sistemas de calefacción.

Como dice Bodvarsson (GR/5), los fluidos geotérmicos son malos conductores del calor. Según este autor, la transportabilidad máxima del vapor natural para la generación de electricidad es de unos diez kilómetros; convertida en electricidad, la energía puede, por supuesto, transmitirse a distancias mucho más largas y así superar el inconveniente de un emplazamiento a menudo inconveniente con respecto al mercado consumidor. El agua a elevadas temperaturas puede conducirse por tuberías a mayores distancias, como sucede en Islandia, donde hay una de quince kilómetros y se están diseñando otras más largas; en realidad un recorrido de cincuenta a 100 kilómetros puede no ser totalmente desacertado para los sistemas de calefacción (GR/5). La gran longitud de las tuberías aumentará el costo en el lugar de utilización; en el caso de Islandia, por ejemplo, ese costo es dos veces y media mayor que en la boca del pozo (G/37).

Dada la demanda de electricidad, puede plantearse la cuestión de saber si debe construirse una central grande o varias centrales pequeñas próximas a los pozos. Ello depende en gran medida de las condiciones locales, y también de la longitud de las tuberías, la presión de vapor, la temperatura, el caudal de circulación y el diámetro de las tuberías, por una parte, y del tamaño más económico de las centrales por la otra. En Wairakei, toda la capacidad se concentra en un mismo sitio, mientras que el sistema de Larderello se basa en instalaciones descentralizadas. Los trabajos técnicos proporcionan también algunos detalles sobre los costos de las tuberías de superficie y el equipo auxiliar pertinente, que ascienden aproximadamente a 64 dólares por kilovatio instalado en Los Géiseres (G/51) y Wairakei (G/4), a 35 en Islandia (G/9) y a sólo de 7 a 9 en una central pequeña como las de Larderello (G/62).

PRODUCCIÓN GEOTÉRMICA DE ELECTRICIDAD (GR/4)

La energía geotérmica puede convertirse en electricidad en forma muy sencilla: el vapor que sale del pozo pasa a través de una turbina que a su vez impulsa a un generador eléctrico, y luego se descarga en la atmósfera. Esas centrales no tienen condensadores y funcionan directamente con el vapor; son fabricadas en tamaños pequeños, con una capacidad de 500 kilovatios o menos hasta 6.000 (G/64). Esas pequeñas centrales, creadas en Italia, son unidades compactas y de poco peso, fáciles de transportar, instalar y trasladar de un lugar a otro.

Estas sencillas centrales sin condensadores son las menos costosas y las de más fácil operación. Son las más adecuadas para las regiones subdesarrolladas donde la demanda de electricidad sea de unos 1.000 kilovatios (para que el aprovechamiento del vapor resulte económico) y donde no haya que preocuparse por la eficaz utilización del vapor, y para ensayar nuevos procedimientos; en este último caso trabajan con vapor que de otro modo se desperdiciaría. Son también las únicas adecuadas cuando el contenido gaseoso del vapor es elevado (G/62). Una central así se ha instalado en México al costo excepcionalmente reducido de 53 dólares por kilovatio (G/77), y en varias de las estaciones de Larderello, donde los diversos costos (con exclusión de las tuberías) ascienden en total a unos 65 dólares por kilovatio instalado en una estación compuesta de una sola unidad, y aproximadamente a un 10% menos de esa cantidad para una estación compuesta de varias unidades (G/62). El costo total de la electricidad (habida cuenta de la inversión efectuada en pozos y tuberías y de los tipos de depreciación, interés y uso previstos) puede calcularse en 4 a 8 milésimas de dólares por kilovatio-hora en condiciones similares a las de Larderello.

Pero la central sin condensadores consume mucho vapor; en Larderello, por ejemplo, dicho consumo es de veinte kilogramos por kilovatio-hora, a una presión de unas cinco atmósferas y una temperatura de 200° C. No obstante, el consumo puede reducirse a la mitad, o bien el rendimiento en electricidad puede aumentarse al doble mediante el uso de condensadores y otros elementos auxiliares, que permiten aumentar la presión y la diferencia de temperatura entre la entrada y la salida de la turbina.

Como el aprovechamiento eficaz del vapor y el mayor rendimiento son consideraciones importantes desde el punto de vista de la competencia en el suministro de electricidad, todas las centrales grandes de larga duración instaladas recientemente en Larderello y en otros sitios están provistas de condensadores. Esas centrales pueden funcionar directamente con el vapor de los pozos, con vapor secundario obtenido mediante intercambiadores de calor (que permiten aprovechar el vapor más sucio y recuperar las sustancias químicas), o con vapor extraído del agua caliente a baja presión. Las cen-

trales de condensación exigen una serie de unidades auxiliares que se describen detalladamente en los trabajos técnicos, tales como bombas para la circulación del agua y la eliminación de los gases, agua de refrigeración, y condensadores propiamente dichos. Cabe observar de paso que el agua de refrigeración puede constituir un problema y que acaso sea preciso economizarla mediante torres refrigerantes, que constituyen un rasgo característico del paisaje en Larderello. Los gases extraídos de los condensadores pueden prestarse a la recuperación de productos químicos, como en Larderello, o bien éstos pueden recuperarse en los intercambiadores de calor y en los dispositivos de lavado del vapor antes de su entrada en la turbina; pero en estos últimos sistemas la presión y el rendimiento en electricidad se reducen. En algunos casos pueden necesitarse también algunos elementos auxiliares para impedir la contaminación de la atmósfera y el agua por las impurezas del vapor natural o para reducir la corrosión en la central misma.

Naturalmente, todo el equipo auxiliar requerido en las centrales de condensación complica las operaciones y aumenta apreciablemente los costos en concepto de inversión en la central, pero en relación con los kilovatios producidos esos aumentos pueden ser compensados con creces por la reducción de los gastos en pozos y tuberías, salvo en las centrales que cuentan con elementos para la recuperación de sustancias químicas, en cuyo caso los ingresos obtenidos de éstas tendrían que justificar la mayor inversión por kilovatio. Las centrales de condensación sólo resultarán económicas en estaciones relativamente grandes que comprendan varias unidades pequeñas o algunas unidades mayores; los turbogeneradores que se utilizan actualmente pueden tener hasta 30.000 kilovatios de capacidad e ir acompañados de unidades menores que hacen las veces de equipo auxiliar o de reemplazo; en Wairakei, por ejemplo, la capacidad efectiva será de 151.000 kilovatios, y se contará además con un equipo de 11.000 kilovatios y otro de 30.000 que se usarán como unidades de reemplazo (G/4).

Los costos de las centrales de condensación, y en consecuencia los de la electricidad, varían según una serie de factores demasiado detallados para exponerlos en este documento, en el que sólo daremos algunas cifras resumidas sacadas de los trabajos técnicos. En Los Géiseres, por ejemplo, la inversión en la central eléctrica se calcula en 1.900.000 dólares, o sea, 152 dólares por kilovatio, pero habría sido aproximadamente un 26% mayor con un nuevo generador; desde septiembre de 1960 la central ha funcionado al 83% de su capacidad de utilización del vapor natural, que compra a otra compañía a razón de 2,5 milésimas de dólar por kilovatio neto entregado, y produce electricidad a un costo por kilovatio-hora comparable al de las centrales térmicas usuales más recientes (G/8). Una característica notable de esta instalación es su alto grado de automatización. En efecto, sólo es atendida durante ocho horas al día, y en las dieciséis

restantes funciona sola, gracias a sus numerosos dispositivos de estabilización y de control remoto; hasta la fecha sólo ha habido dos desperfectos de turbina y una alarma (G/8).

Según la estimación hecha respecto de la propuesta central eléctrica de Islandia (G/9), la inversión total sería de 364 dólares por kilovatio neto instalado (de cuya suma correspondería el 50% a la central eléctrica completa), o sea una cifra comparable a la de las centrales hidroeléctricas de menos de 40.000 kilovatios construidas en Islandia; el costo global por kilovatio-hora neto se calcula en 7,9 milésimas de dólar, a base de un rendimiento máximo de 7.500 horas por año, una vida media de tan sólo cinco años para los pozos, y un interés del 7%.

El costo total de la inversión de capital en la instalación de Wairakei se estima (G/4) en 15.809.000 libras (unos 44 millones de dólares), o sea 82,25 libras (unos 230 dólares) por kilovatio instalado, de cuya suma corresponde un 42% a la provisión de calor (prospección, perforación, etc.) y un 46% a la central y demás instalaciones; si en una tercera etapa se ampliara la capacidad a 282.000 kilovatios, parece que el costo por kilovatio se reduciría a menos de 78 libras. El costo global de la producción de electricidad se calcula en menos de 0,4 peniques (unas 4,6 milésimas de dólar) por kilovatio-hora a base de un rendimiento de 1.220 millones de kilovatios-hora anuales (es decir, con un factor general de carga del 72,5%) y un interés del 5%; en la tercera etapa el costo por kilovatio-hora se reduciría aproximadamente en un 12%.

La inversión y los costos de producción de Larderello son más difíciles de evaluar, debido sobre todo a la existencia de varias centrales de distintas edades y a la producción combinada de electricidad y de sustancias químicas. Chierici hace sin embargo una interesante comparación respecto a ciertos factores de costo (G/62), entre una central térmica de tipo corriente con dos unidades de 150.000 kilovatios cada una, y una central geotérmica con dos unidades de condensación directa del vapor de 15.000 kilovatios cada una, a saber (en libras italianas, a razón de 620 libras por dólar de los EE.UU.)

	Central de tipo corriente de 300.000 kilovatios	Central geotérmica de 30.000 kilovatios
Inversión en la central por kilovatio neto instalado	70-75.000	80-90.000
Gastos de operación por kilovatio-hora de rendimiento neto	0,35-0,40	0,70-0,80
Costo de combustible por kilovatio-hora de rendimiento neto	3,10-3,30	—
Costo del vapor por kilovatio-hora de rendimiento neto . . .	—	0,50-0,55

En ambos casos estos cálculos se basan en un período de trabajo de 8.000 horas anuales. Los gastos de operación son mayores en la estación geotérmica, principalmente debido al menor tamaño de la central. El costo del vapor geotérmico se calcula al parecer a base de la inversión anual de

renovación (gastos anuales de perforación, etc.) necesaria para mantener la extracción de vapor, e incluso sobre una base muy pesimista el costo del vapor resulta ser inferior a una milésima de dólar por kilovatio-hora (en comparación con cinco milésimas, que es lo que cuesta el combustible en el caso de Italia). El costo total de la electricidad depende también de las cargas anuales (interés y depreciación) resultantes de la inversión en la central; si se considera una carga anual del 10% para la central de tipo corriente y del 15% para la central geotérmica (para prever la posibilidad de mayores problemas de corrosión y las vicisitudes en la obtención de vapor), el costo total ascendería a unas siete milésimas de dólar por kilovatio-hora en la central corriente de gran tamaño y a menos de cinco en la central geotérmica, de tamaño mucho menor. De hecho, parece que los costos efectivos de la mayor de las centrales de Larderello, que satisface al consumo básico, se estiman entre dos y tres milésimas de dólar por kilovatio-hora, es decir que son más bajos que los de cualquier central eléctrica de cualquier tipo o tamaño, salvo quizá las centrales hidroeléctricas más convenientes de Noruega; asimismo, esos costos equivalen aproximadamente a la mitad de los más optimistas calculados para la energía nuclear en gran escala, que aún no han sido alcanzados.

En conclusión, puede observarse que desde el punto de vista práctico, en cuanto se refiere a la producción geotérmica de electricidad, la base de comparación más importante es el costo por kilovatio-hora. A base de la experiencia concreta y de las condiciones indicadas en los diversos trabajos presentados, los costos oscilarían entre dos y ocho milésimas de dólar por kilovatio-hora. Estas estimaciones se basan generalmente en un elevado factor de aprovechamiento que no siempre será posible obtener en los países subdesarrollados, a menos que se utilicen centrales geotérmicas para satisfacer el consumo básico. A los costos de producción deben sumarse los de transmisión — que pueden ser muy elevados si el emplazamiento de la central es desfavorable con respecto al mercado y si la carga es baja — y además debe añadirse los costos de la distribución a líneas secundarias. Aun así, la energía geotérmica implica costos de producción bastante reducidos en los pocos casos de explotación que se conocen y, muy posiblemente, en muchos otros en que se emprenda la prospección y se realicen las demás etapas mencionadas.

CALEFACCIÓN Y PROCESOS TÉRMICOS MEDIANTE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA (GR/5)

Siempre que el mercado esté situado a una distancia razonable, la energía geotérmica se presta particularmente para sistemas de calefacción y otros procesos térmicos que requieran temperaturas relativamente bajas (hasta unos 200° centígrados). Ya hemos hablado de esta aplicación, particularmente en Islandia, donde este sistema de calefacción tiene una gran importancia económica.

Los sistemas de calefacción doméstica y comunal se han desarrollado muchísimo en Islandia (G/37, G/45). El sistema de Reykjavik, por ejemplo, suministra calor a bajo costo para el consumidor, y sin embargo constituye uno de los negocios más provechosos de la ciudad. La temperatura en la principal línea de suministro es de unos 94° centígrados, y sólo decae a razón de un grado centígrado por cada cinco kilómetros. La calefacción geotérmica tiene la ventaja de ser cómoda y limpia (por lo menos cuando se han resuelto los posibles problemas de la corrosión y la incrustación), no tiene los inconvenientes de la ceniza y el humo, y los riesgos de incendio son mucho menores.

El costo de producción en Islandia es aproximadamente el mismo — o menor — que el costo medio, por unidad de calor y en la boca del pozo, del gas natural producido en los Estados Unidos. Calculado en dólares por gigacaloría (1.000 millones de calorías) el costo total (con exclusión de las utilidades y los impuestos) del calor suministrado en el punto de entrega se divide de la siguiente forma: producción, 0,60 dólares; conducción por la tubería principal de suministro, 1,45 dólares; almacenamiento de agua, 0,16 dólares; distribución en la ciudad, 1,35 dólares; y funcionamiento de la central de refuerzo, 0,50 dólares. Es decir, un total de 4,06 dólares por gigacaloría, en comparación con un costo aproximado de 7 dólares por gigacaloría en los sistemas de calefacción a petróleo (G/37).

El uso actual de la energía geotérmica para procesos térmicos es reducido, pero se han estudiado otros varios, principalmente en Islandia, que atraen a las industrias allí y en otras partes, por lo menos en la medida en que los costos favorables del suministro de calor no sean contrarrestados e incluso superados por efecto de los mayores costos del transporte de materias primas y otros gastos. Un plan a este respecto (G/59) se refiere a la producción de agua pesada que, según se ha comprobado, puede producirse en Islandia a costos considerablemente más bajos que en las centrales comparables de la Europa occidental que consumen combustible. No obstante, el proyecto se encuentra en suspenso, debido a la incertidumbre del futuro mercado de agua pesada. Otro ejemplo lo brinda la extracción de sal del agua de mar en el Japón (G/7), donde el producto se obtiene principalmente mediante sistemas de evaporación a cielo abierto calentados con energía geotérmica. Sin embargo, esta producción se abandonará porque los costos son más elevados que los de la sal importada, y también por los inconvenientes causados a los centros de turismo que se han creado en torno a las fuentes termales, lo cual constituye un obstáculo para la utilización de la energía geotérmica en el Japón. Un proyecto de producción de sal en Islandia (G/27), al que se ha proporcionado asistencia técnica de las Naciones Unidas, también ha resultado ser marginal si se lo limita a producir 60.000 toneladas anuales de sal. Este proyecto todavía no

ha sido estudiado adecuadamente para la producción combinada de sal y otras sustancias químicas, en cuyo caso la explotación podría ser muy ventajosa. Otra aplicación obvia sería la producción de agua potable por destilación simple, que podría resultar especialmente interesante en las regiones áridas que carecen de agua para el riego pero cuentan con energía geotérmica. Entre otras aplicaciones consideradas pueden mencionarse el secado y la elaboración de materiales como la diatomita, la alúmina, el pasto y la turba (G/59), y el uso en la refrigeración por absorción y el acondicionamiento de aire (G/52).

RECUPERACIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS Y PLANES COMBINADOS (GR/5)

Hasta la fecha es poca la experiencia adquirida en materia de planes combinados. La combinación de la generación de la electricidad con sistemas de calefacción es una posibilidad evidente, pero todavía no se la ha probado en escala considerable. El único plan combinado importante llevado a la práctica es el de Larderello, donde se genera energía eléctrica y se recuperan sustancias químicas del vapor geotérmico (G/39, G/63).

Los fluidos geotérmicos contienen siempre sustancias químicas que incorporan en su caudal al pasar a través de diversos medios físicos y químicos. La composición y proporción de esas sustancias varían de un campo a otro. En algunos casos pueden ser bastante inocuas o presentarse en bajas concentraciones o pueden suceder ambas cosas, como en Wairakei, donde se ha comprobado que la recuperación de litio y otras sustancias sería técnicamente factible, pero exigiría gastos mayores que el valor de los productos que se obtendrían (G/56). En otros casos las concentraciones pueden ser bajas pero pueden contener elementos nocivos, haciendo necesaria la eliminación o separación de las sustancias químicas inconvenientes, además de las precauciones que deben adoptarse para seleccionar aleaciones resistentes a la corrosión. En Larderello, por ejemplo, es preciso eliminar el azufre, pues de lo contrario se agregarían de 500 a 800 kilogramos de ácido sulfúrico por hora a la contaminación atmosférica (G/63).

Las sustancias químicas inconvenientes pueden desempeñar un papel económico "pasivo", es decir que su recuperación sólo contribuye a reducir el costo de la energía; sólo en casos especiales, según Garbato (G/63), pueden aportar las sustancias químicas un valor "activo" y ofrecer interés en sí mismas.

Larderello es la única instalación donde el vapor geotérmico contiene sustancias químicas tanto de valor "activo" como "pasivo". En efecto, se recordará que Larderello comenzó sus operaciones como una central recuperadora de sustancias químicas, y que la generación de electricidad se convirtió en la principal actividad mucho más tarde. El deseo de mejorar el rendimiento ha tenido una profunda

influencia en el diseño de las nuevas centrales y en la reconversión de las más antiguas. Pero las sustancias químicas siguen aportando una contribución nada insignificante al total de los ingresos, y se las tiene muy en cuenta en el diseño de los diversos tipos de centrales condensadoras mencio-

nadas en una sección anterior. Los principales subproductos químicos son el ácido bórico, el bórax, el bicarbonato de amonio, el carburo de boro, el azufre y el boro. Otro caso especial es el de un campo geotérmico de Kenia donde ahora también se produce dióxido de carbono.

ENERGIA EOLICA

Algunos conceptos y factores básicos — Distribución de los vientos y elección de emplazamientos — Diseño y prueba de centrales de energía eólica — Ultimos adelantos en las aplicaciones de la energía eólica

En los países industrializados, tales como los Estados Unidos, cuyas zonas rurales disfrutaban hoy de los beneficios de redes de transmisión sumamente desarrolladas, miles de instalaciones de energía eólica han contribuido a abrir camino a la electrificación y a una forma diferente de vida. Al terminar la guerra, esos países se interesaron en la construcción de grandes centrales anemoeléctricas, como resultado de la escasez de combustibles y del éxito de los experimentos hechos durante la guerra con la turbina eólica Smith-Putnam de 1.000 a 1.250 kilovatios, instalada en Grandpa's Knob, lugar de Vermont, Estados Unidos. Es posible que al mejorar la situación en materia de combustibles haya disminuido el interés; no obstante, durante los últimos años se han hecho apreciables progresos. La labor emprendida ha contribuido ciertamente a una mejor comprensión de todo el problema de la energía eólica, desde la determinación del régimen de los vientos y la adaptación de molinos de viento sencillísimos, hasta los temas más complejos de la aerodinámica avanzada. Esto se ha conseguido en gran parte sin contar con la gran ayuda que se ha prestado en el campo de la energía atómica, por ejemplo, y sin el estímulo dado a la utilización de la energía solar cuando se descubrió que tenía aplicaciones en los programas de exploración del espacio.

La situación energética es muy diferente en las regiones subdesarrolladas, según hemos indicado en una sesión anterior. Puede haber un campo considerable en esas regiones para la instalación de centrales de energía eólica de todo tipo, por ejemplo centrales pequeñas, mecánicas y eléctricas, para establecimientos agrícolas, centrales de tamaño mediano (de 10 a 15 kilovatios) para aldeas, e instalaciones mayores aún para zonas de distribución. Como dice Thacker (GEN/15), la energía eólica "es una fuente energética que se presta para los programas de desarrollo de las comunidades rurales de los países subdesarrollados de Asia, Africa y otros continentes, y que exige una labor sistemática y organizada en gran escala en esas regiones". Ejemplo de ello es la India, donde en breve se instalarán con fines experimentales 200 molinos de viento de diseño nacional, en lugares seleccionados.

La India es uno de los varios países que han creado comisiones de energía eólica u organizaciones similares por iniciativa oficial o privada. Estos órganos existen en los países industrializados y en los subdesarrollados, y se ocupan de diversas cuestiones, que abarcan desde los aspectos más amplios de la energía eólica hasta los más elementales.

La construcción de centrales de energía eólica ha alcanzado su mayor desarrollo en Europa, donde varias organizaciones nacionales han instalado algunas relativamente grandes (cuarenta kilovatios y más). Entre éstas, la más conocida, que tiene una capacidad máxima de 900 kilovatios, ha sido instalada recientemente en Francia (GEN/12), mientras que en Dinamarca está funcionando una de 200 kilovatios desde 1957 (W/20). En los últimos años se han instalado centrales de 100 kilovatios en Alemania (W/34) y en la Isla de Man (Reino Unido), así como en Argelia (W/8); esta última fue trasladada desde el Reino Unido. Hungría ha comenzado la construcción de una unidad de 200 kilovatios (W/36), mientras que los esfuerzos de la Unión Soviética parecen concentrarse en unidades de tamaño mediano, notablemente en la estación experimental de Istra, cerca de Moscú, así como en el bombeo de agua y en la instalación de generadores para resolver los problemas del suministro intermitente de electricidad. En los Países Bajos, nación de larga fama por la utilización de la energía eólica, un molino de viento de tipo tradicional ha sido adaptado para la producción de unos cuarenta kilovatios de electricidad. Varios de estos países tienen también centrales eólicas modernas de tamaño mediano; la mayoría de ellos, así como Australia, el Canadá, el Japón, Sudáfrica y los Estados Unidos, fabrican o utilizan pequeños molinos de viento para la generación de electricidad. Desde luego, muchas unidades pequeñas han sido importadas en otras regiones, desde Alaska hasta la Antártida.

Las organizaciones que se ocupan de la energía eólica en los países subdesarrollados han emprendido principalmente estudios de la energía eólica — algunos de los cuales se presentaron en la Conferencia — para determinar la posibilidad de un aprovechamiento efectivo. Además de las organi-

zaciones y los trabajos de la India (W/19), pueden mencionarse las organizaciones y estudios efectuados en la Argentina (W/10), Birmania, Haití, Israel (W/33), Pakistán, España (W/16), Somalia, Trinidad, República Árabe Unida (W/4) y Uruguay. En varios de esos casos las iniciativas han contado con la asistencia técnica de las Naciones Unidas y sus organismos especializados, y han sido dirigidas en todos los casos al moderno aprovechamiento de la energía, especialmente a la producción de energía eléctrica y al bombeo basados en métodos científicos. Se distinguen así del uso de los molinos de viento tradicionales, a menudo de construcción primitiva, que de todas maneras siguen desempeñando un papel sumamente útil.

El estudio de la energía eólica constituye una etapa de fundamental importancia, que se considera a continuación con referencia a la disponibilidad de esa energía y a la selección de emplazamientos, tras una breve reseña de algunos conceptos básicos que se consideran útiles para la comprensión de las secciones siguientes.

ALGUNOS CONCEPTOS Y FACTORES BÁSICOS

Los molinos de viento sencillos se han utilizado desde hace varios siglos, sin prestar mucha atención al aspecto científico de la energía eólica y su utilización. El criterio de la sencillez es siempre conveniente. Pero la técnica moderna proporciona los medios para diseñar centrales eólicas más eficaces, incluso para la producción de energía eléctrica, así como una mejor comprensión de los complejos principios inherentes.

Uno de los factores fundamentales es la índole de la energía eólica, que se basa en una masa (aire) en movimiento. La energía aumenta junto con la densidad y la velocidad de la masa. El aire tiene una baja densidad en comparación con el agua, por ejemplo, cuya fuerza es por este motivo unas 800 veces mayor a la misma velocidad. Por consiguiente, ha de buscarse una compensación, sea en la mayor velocidad, en la mayor superficie de intersección del movimiento de la masa, o en ambas.

La fuerza (P) del viento es proporcional al cubo de su velocidad (V) y a la superficie de intersección (A); se la expresa con la fórmula $P = KAV^3$, en la cual (pasando por alto las variaciones de la densidad del aire) K es una constante cuyo valor depende de las unidades empleadas para medir A y V . La velocidad se mide por lo común en millas por hora o metros por segundo (siendo una milla por hora igual a 0,447 m/segundo).

La importancia de la velocidad del viento queda de manifiesto por el hecho de que, si la superficie de intersección es de 100 pies cuadrados y la velocidad del viento es de diez millas por hora, la energía que se puede obtener es de 0,53 kilovatios, en tanto que a velocidades del viento de treinta, cincuenta y 100 millas por hora sube con rapidez a 14,3, 66,3 y 530 kilovatios, respectivamente.

El viento se intercepta por medio de las aspas de un rotor, que puede ser vertical u horizontal. El sistema de eje vertical ofrece las ventajas de que permite captar el viento de cualquier dirección y transmitir la energía directamente a tierra, pero su rendimiento es menor y no se lo utiliza en las máquinas modernas. El sistema de eje horizontal tiene que instalarse en una torre de altura suficiente para que las aspas no toquen el suelo, y debe contar con un mecanismo de orientación, como ser una aleta posterior, para mantener las aspas contra el viento; también debe tener, tratándose de la generación de energía mecánica, algún juego de engranaje y un árbol de transmisión de la energía a tierra, en tanto que los generadores eléctricos pueden montarse en la torre y hasta acoplarse directamente al rotor, sacándose la energía por cables eléctricos. Una variación del tipo horizontal es la llamada máquina de Andreau, diseñada en Francia y empleada actualmente en Argelia (W/8); se compone de una torre hueca y de un juego de aspas o hélice huecas que al girar por la acción del viento expulsa aire y crea así una depresión cerca del fondo de la torre, en la que entra el aire que hace funcionar un generador de turbina en tierra.

A una velocidad dada del viento, la capacidad de la instalación puede elevarse aumentando el tamaño de las paletas de la hélice. El diámetro de la hélice o rotor varía actualmente entre treinta y treinta y cinco metros en las máquinas más grandes, lo que exige una torre tanto más elevada y una inversión adicional. En cambio, y esto es más importante, cabe aumentar la capacidad de una máquina de un tamaño dado emplazándola en un lugar más ventoso.

La capacidad de una instalación de energía eólica depende, pues, no sólo de su tamaño sino también de la velocidad del viento para la cual está calculada, o velocidad nominal. Las máquinas están diseñadas para dar todo su rendimiento a una velocidad nominal dada; es decir, que la energía del viento a mayor velocidad no se aprovecha. Puede escogerse una gran velocidad (hasta de cuarenta millas por hora) para sacar partido de los vientos muy fuertes, pero éstos son poco frecuentes y las máquinas que alcanzan su capacidad a esas velocidades tendrían muy poco rendimiento o no funcionarían a velocidades mucho menores. Así pues, también ha de prestarse atención, sobre todo tratándose de centrales anemoelectricas, a la velocidad nominal mínima con que la máquina empieza a funcionar y por debajo de la cual, si no está dispuesta convenientemente, puede incluso extraer electricidad a una batería o acumulador. En el otro extremo se encuentran mecanismos de freno y de velocidad máxima, para impedir el exceso de funcionamiento con el consiguiente perjuicio de las instalaciones.

Además de la determinación de la capacidad por el tamaño del rotor y la velocidad nominal (y la eficiencia de conversión), también es funda-

mental el rendimiento anual que puede obtenerse con esa capacidad. El número de kilovatios-hora producidos por unidad de capacidad (rendimiento específico, que disminuye al aumentar la velocidad nominal) también es función de la velocidad nominal de la instalación y del régimen de vientos en el lugar de que se trate; éste se determina mediante estudios de la fuerza de esos vientos, de los cuales por lo general se derivan las llamadas curvas de duración de la velocidad y curvas de duración de la fuerza ($W/12$). Por lo tanto, el número de horas al año en que el viento sopla a velocidades comprendidas en los límites de funcionamiento de la máquina, determina el rendimiento máximo que puede obtenerse. Así, también es importante escoger emplazamientos de mucho viento, porque en ellos será mayor el número de horas de funcionamiento a una velocidad nominal dada, pudiendo asimismo ser mayor la velocidad nominal que se escoja. Ambos factores influyen muchísimo en la inversión de capital y en el costo de la energía.

La inversión que exigen las instalaciones varía con la capacidad y, por supuesto, con la ubicación. El costo de capital por kilovatio instalado generalmente se reduce al aumentar la capacidad, sobre todo cuando la mayor capacidad se logra merced a una mayor velocidad nominal; pero también puede reducirse como resultado de las economías de escala que se obtienen con un rotor de mayor diámetro. En términos muy generales, el costo todavía puede calcularse, como en el estudio de 1957 que se menciona en la introducción a esta parte del presente informe, entre 420 y 560 dólares por kilovatio para instalaciones anemoelectricas pequeñas, incluido el acumulador, entre 280 y 420 para las instalaciones de tamaño mediano con una capacidad de diez a 100 kilovatios, y entre 140 y 280 para las instalaciones más grandes.

El costo por kilovatio-hora depende del número de kilovatios-hora obtenidos por kilovatio, de los tipos de interés y de amortización aplicados a la inversión y, en menor grado, de los costos anuales de explotación y conservación. Para la mayoría de las instalaciones puede resultar razonable un período de depreciación de veinte años, de modo que, con un interés del 5% al 6% la cifra anual de gastos (incluida la conservación) variaría entre el 9% y el 15% de la inversión, aplicándose el valor más alto a las instalaciones pequeñas dotadas de acumulador. Esta cifra anual de gastos se divide por el número de kilovatios-hora para obtener la cifra de costos más apropiada. Aplicando las cifras anteriores y un valor razonable de rendimiento específico (aproximadamente de 900 a 5.500 kilovatios-hora por kilovatio por año), el costo es del orden de diez a 100 milésimas de dólar por kilovatio-hora para las instalaciones anemoelectricas pequeñas dotadas de acumulador, de seis a 60 milésimas para las de tamaño mediano, y de 3 o más para las instalaciones grandes, siempre que, naturalmente, la producción se utilice totalmente pese a la intermitencia del suministro.

Merece especial consideración la posibilidad de utilizar esta producción de carácter intermitente, y de ello se tratará más adelante. Sin embargo, puede señalarse de paso que en las instalaciones grandes conectadas a una red eléctrica el interés primordial estriba en obtener el costo más bajo posible por kilovatio-hora, lo cual a su vez puede hacer necesaria la elección de una velocidad nominal relativamente grande a expensas de una reducción del número de horas de funcionamiento. Sin embargo, para los molinos de viento más pequeños que no funcionan en combinación con otras instalaciones productoras de energía se escogería una velocidad nominal relativamente reducida a fin de extender el número de horas de funcionamiento a plena capacidad, incluso a expensas de cierto incremento del costo por kilovatio-hora. Sea como fuere, debe hacerse todo lo posible por encontrar el emplazamiento más ventoso que se pueda a una distancia razonable y económica para una transmisión que resulte técnicamente factible. La distancia posible disminuye en función de la capacidad de la instalación y, tratándose de una transmisión mecánica directa, como la utilizada en operaciones de bombeo, el emplazamiento está limitado al lugar de utilización.

Aparte de los usos múltiples de su producción, la instalación anemoelectrica moderna tiene la ventaja de que permite una mayor latitud en la elección del emplazamiento más ventoso, lo que con frecuencia compensa con creces las pérdidas que ocasiona la conversión, incluso en el caso del bombeo de agua.

DISTRIBUCIÓN DE LOS VIENTOS Y ELECCIÓN DE EMPLAZAMIENTOS (GR/6)

Hace ya mucho tiempo que las estaciones meteorológicas nacionales, los aeropuertos y otros servicios hacen observaciones generales sobre los vientos para sus propios fines, que abarcan desde los pronósticos del tiempo hasta las observaciones del viento como fenómeno meteorológico. Actualmente, esta labor es coordinada en el plano internacional por la Organización Meteorológica Mundial (OMM), que estuvo representada en la Conferencia mediante un análisis de la información existente sobre observaciones de los vientos ($W/11$). La determinación del régimen de los vientos en meteorología la describe más a fondo Perlat ($W/13$).

Los datos meteorológicos dan la primera buena indicación general de las regiones ventosas, y por lo tanto deben tenerse muy en cuenta. El gran volumen de los datos refleja claramente la importancia de los vientos alisios y el hecho de que las regiones litorales y las islas son por lo general mucho más ventosas que las regiones del interior. En Africa y sus alrededores, por ejemplo, algunas de las regiones más ventosas se encuentran al norte y al noroeste del continente, en las islas Canarias ($W/16$), en Madagascar y en la costa del Mar Rojo ($W/4$), en tanto que el Africa central y ecuatorial es menos ventosa. Del mismo modo, las

estaciones meteorológicas litorales registran por lo general los vientos más fuertes en Australia y también en el hemisferio occidental, donde las despejadas llanuras al este de las Montañas Rocosas constituyen también una región relativamente ventosa. Eurasia está bajo la fuerte influencia del calentamiento y el enfriamiento estacionales de la inmensa masa continental, y, en el Asia meridional, de los cambiantes monzones. Algunas de las regiones más ventosas se encuentran al noroeste de Europa, sobre todo en invierno, cuando la demanda de electricidad es más alta al paso que el caudal de los ríos que alimentan las centrales hidroeléctricas suele ser más reducido.

Así, pues, los datos meteorológicos de que se dispone — que por lo general se calculan como la velocidad media mensual o anual del viento, pero a veces también como una distribución de la frecuencia de las distintas velocidades del viento — son útiles para una evaluación general, pero no bastan para los que se interesan en el viento como fuente de energía. Esta limitación la reconocen los meteorólogos y también la OMM, la cual señala que las conclusiones en cuanto a la posibilidad práctica de captar la energía eólica “son cuestión del ingeniero o del economista” (W/11).

La insuficiencia de los datos meteorológicos en relación con la energía eólica obedece a diversos factores, entre los cuales figura la ubicación misma de las estaciones meteorológicas, ya que éstas se instalan más bien en los lugares donde pueden obtener los datos más representativos de la región que en los lugares extremadamente ventosos. Por otra parte, en los estudios sobre energía eólica las finalidades primordiales consisten en encontrar lugares especialmente ventosos, en obtener datos sobre la probable producción de energía y sobre el régimen de los vientos en esos lugares y, a veces, en obtener información especial de interés para el diseño y el funcionamiento de las instalaciones de energía eólica.

En consecuencia, por lo general deben emprenderse estudios especiales y establecerse estaciones de observación por lo menos temporales a fin de determinar las posibilidades concretas que ofrece la energía eólica. Ya hemos mencionado estudios de esta naturaleza emprendidos en los países subdesarrollados, de los cuales da una buena muestra Solimán (W/4). También se los ha emprendido en varios países industrializados, a veces en gran escala; Argand (W/35), por ejemplo resume los datos y resultados pertinentes obtenidos por 181 estaciones de observación en Francia, así como por 140 en Africa, y varias más, expresándolos como la energía eólica media teóricamente recuperable traducida en kilovatios-hora por metro cuadrado por año, valor que se obtiene directamente por medio de un ingenioso instrumento de medición francés.

El estudio especial sobre los vientos, que exige una planificación cuidadosa y una ejecución exacta para que dé información fidedigna en cuanto al

régimen de los vientos, suministra datos susceptibles de analizarse bajo aspectos tales como el de las variaciones a corto plazo (importantes para el diseñador de las instalaciones), variaciones diurnas y estacionales, frecuencia y duración de los períodos de poco viento, y otros factores eólicos que afectan a las posibilidades técnicas y económicas de la producción de energía. Durante un año o dos pueden necesitarse observaciones recogidas con intervalos por lo menos de una hora, que luego pueden extrapolarse correlacionándolas con los datos meteorológicos correspondientes a períodos mayores, los cuales deben utilizarse al máximo, “porque las características generales del régimen de los vientos en una región se aplican también a los distintos puntos dentro de ella” (GR/6). Además, y esto es de gran interés, en diversos estudios se ha comprobado que las llamadas curvas de duración de la velocidad y de duración de la fuerza (W/12), que se trazan a base de los datos, presentan en su distribución una notable semejanza a una determinada velocidad media anual del viento, por lo que esta última cifra puede ser a menudo de mucha utilidad en los cálculos preliminares. Los datos eólicos en una localidad pueden obtenerse mediante una variedad de instrumentos de medición, que van desde los sencillos anemómetros de cazoleta hasta los complicados mecanismos registradores e integradores que se describen en los trabajos técnicos; basta señalar aquí que la elección de los instrumentos ha de decidirse atendiendo a lo que se quiere medir, y que debe anotarse con cuidado su altura sobre el terreno, pues la velocidad del viento por lo general aumenta con la altura.

Al decidir el emplazamiento geográfico de los instrumentos y, ulteriormente, de las centrales, hay que tener en cuenta la topografía de la región, a fin de sacar todo el partido posible de la compresión y mayor velocidad del viento al pasar sobre ciertos tipos de colinas y de montes, como indican, entre otros, Frenkiel (W/33), Lange (W/28) y Petterssen (W/26). Con esta selección cuidadosa de sitios apropiados se pueden aprovechar vientos cuya velocidad media será superior en varias millas por hora a la registrada en puntos cercanos, lo cual permitirá quizá aumentar, en un 50% por lo menos, la cantidad de energía producida. Por lo tanto, lo que se pretende al seleccionar los sitios es descubrir los puntos ventosos, de la costa o del interior, situados en condiciones razonablemente favorables en cuanto a facilidad de acceso y proximidad al lugar de utilización.

DISEÑO Y PRUEBA DE LAS CENTRALES DE ENERGÍA EÓLICA (GR/7)

El diseño y prueba de las centrales de energía eólica competen al ingeniero, que a este respecto puede elegir, como se aprecia en varios de los trabajos técnicos presentados, entre muchas posibilidades. No se puede, en el presente informe, considerarlas detalladamente, por lo que sólo

se señalarán unas cuantas y se hará hincapié en la gran importancia que tiene la finalidad de la utilización y en la influencia de las condiciones locales.

El ingeniero pretende no sólo proyectar una máquina capaz de funcionar eficazmente en las condiciones y para los fines previstos, sino además lograrlo de modo económicamente óptimo; es decir, a base del mínimo costo inicial compatible con una duración aceptable de la instalación y, sobre todo, con un mínimo costo unitario de la energía producida. Al procurar esa economía máxima ha de tener en cuenta necesidades tales como la de emplear piezas fácilmente renovables y las de transporte e instalación, así como la necesidad de que el conjunto funcione de modo sencillo y económico, requiera un mínimo de entretenimiento y tenga la solidez necesaria para no ser destruido por los vientos de gran violencia.

Para ciertos fines, y en particular para el bombeo de agua, la mejor solución quizá siga siendo, en algunos lugares, la de utilizar versiones mejoradas de los sencillos molinos de viento mecánicos. Con frecuencia, estos molinos pueden construirse enteramente, o al menos en gran parte, utilizando la mano de obra local y los materiales que se encuentren en la región, usando, por ejemplo, para las aspas de los rotores, esterillas de bambú o de caña. Los clásicos molinos de viento holandeses (W/32) estaban contruidos casi totalmente de madera y tenían un rotor horizontal engranado a un eje vertical, o bien un eje inclinado acoplado directamente a un elevador de tornillo para bombear aguas someras; en los países menos desarrollados, el molino holandés tiene aún porvenir, siempre que se le adapte en cada caso a los conocimientos, materiales y herramientas con que cuenten los usuarios de la región. Como ha señalado Stam (W/40), la técnica moderna puede facilitar considerablemente esa adaptación. En efecto, el conocido molino de viento de acero quizá resulte demasiado avanzado para los aldeanos (W/23).

Un buen ejemplo de adaptación es el del molino mecánico inventado en la India (W/23): su costo (incluida la bomba) es de unas 2.500 rupias; ha sido proyectado para vientos de cinco a ocho millas por hora, tiene doce aspas y un rotor de dieciocho pies de diámetro, y puede elevar unos 10 millones de galones al año (según la profundidad). Tan elevado número de aspas no es raro en los molinos mecánicos, que pueden llevar una rueda de movimiento lento acoplada a una bomba de émbolo, o bien un rotor rápido acoplado a una bomba de hélice o a una bomba centrífuga.

De todas maneras, la tendencia actual es hacia las instalaciones anemoelectricas. En este tipo de instalaciones se ofrecen muchas posibilidades y se plantean muchos problemas de diseño. Aquéllas corresponden a factores tales como la elección de corriente (alterna o continua), la velocidad del

rotor (mayor o menor, constante o variable), la disposición y el número de aspas del rotor, el tipo de torre, los materiales, y los mecanismos de regulación. Varios de estos factores son interdependientes.

Por ejemplo, las instalaciones pequeñas suelen generar corriente continua, lo cual tiene la ventaja de que permite el uso de baterías de acumuladores, además de plantear menos problemas en cuanto a regulación de la velocidad. En cambio, en las instalaciones mayores, conectadas a redes de distribución de electricidad, se prefiere la corriente alterna, la cual requiere varios mecanismos de regulación, con los dispositivos consiguientes, que describen, por ejemplo, Armbrust (W/34), Juul (W/17) y Sterne (W/30).

Los proyectistas modernos aprovechan mucho los adelantos de la aerodinámica, como apunta Hütter (W/31). No es casualidad que varios de los perfeccionamientos recientes se deban a técnicos estrechamente relacionados con la aeronáutica, particularmente en lo que se refiere al diseño de aspas de rotores. Ultimanente, los rotores se asemejan con frecuencia a las hélices de aeroplano, y suelen llevar dos o tres aspas. En cambio, la gran instalación húngara descrita en uno de los trabajos (W/36) tiene un rotor de cuatro aspas y un nuevo tipo de engranaje de multiplicación que constituye un progreso importante; la instalación ha sido diseñada de forma que empiece a funcionar con vientos de tres metros por segundo, produzca 100 kilovatios con vientos de ocho metros por segundo y alcance su potencia de 200 kilovatios a los 10,4 metros por segundo; su producción anual de energía es de 320.000 kilovatios-hora.

La aerodinámica ha influido también en la disposición de las hélices, prefiriéndose situarlas de cara al viento, en tanto que, colocadas detrás de la torre, se orientan solas (W/39). En algunas máquinas nuevas, tanto en Francia como en Alemania (W/27, W/34), las aspas de la hélice son de plástico reforzado con fibra de vidrio, y no metálicas, a fin de reducir el peso, aumentar la resistencia a la corrosión y prolongar considerablemente la duración. La rotación de las aspas puede regularse, por ejemplo, variando su paso (W/5) o dotándolas de aletas de freno (W/17).

Al diseñar la torre, hay que cuidar de que no vaya a oponer un obstáculo al viento ni originar vibración, y de facilitar su instalación y entretenimiento. Entre otros diseños interesantes desde este punto de vista, merece mencionarse el de Villinger (W/27), que ha concebido pequeñas instalaciones anemoelectricas, de 200 y de 500 vatios, con torres telescópicas manejables desde el suelo; sin embargo, estas instalaciones parecen ser, en la fase de prototipo, relativamente caras, ya que su coste inicial se calcula entre 750 y 1.000 dólares, y el costo de la energía que producen en 15 a 27,5 centavos de dólar por kilovatio-hora (con batería).

Al diseñar la instalación se puede incurrir en un exceso de refinamiento que la haga muy costosa.

No es sorprendente, por lo tanto, que recientemente se preste mayor atención a los diseños sólidos y relativamente sencillos, en los que se busca la economía; tal es el caso de las instalaciones montadas en la isla de Man (de 100 kilovatios) y en Gedser, Dinamarca (200 kilovatios) (W/17). La primera, diseñada para empezar a funcionar con vientos de dieciocho millas por hora, cuesta unos 140 dólares por kilovatio; la segunda costó 272.000 coronas danesas (unos 39.000 dólares), más 48.000 coronas por concepto de diseño, etc. y 55.000 de equipo de medición, pero es probable que el costo se pudiera reducir a unos 36.000 dólares (o sea, 180 dólares por kilovatio) si se construyeran en gran número (W/20).

Tanto en esta instalación (W/15) como en otras se han hecho ya muchos ensayos. De los resultados obtenidos, algunos son aplicables a otras máquinas, mientras que los relativos, por ejemplo, a la máquina de tipo Andreau que hay en Argelia (W/9) se circunscriben más a ese tipo de máquina. En los ensayos se han estudiado factores tales como la relación entre la producción de energía y la velocidad del viento, los esfuerzos que ha de resistir el sistema de aspas (W/24) y la posibilidad de abreviar los ensayos, que resultan muy costosos, mediante las llamadas pruebas de corta duración (W/3).

ULTIMOS ADELANTOS EN LAS APLICACIONES DE LA ENERGÍA EÓLICA (GR/8)

Al estudiar la utilización de las instalaciones anemoeléctricas conviene distinguir tres categorías, según se destinen al hogar y otros usos particulares, a la comunidad, o a su uso en relación con redes eléctricas. En general, estas tres categorías de utilización corresponden respectivamente a instalaciones de pequeña, mediana y gran potencia.

Para los usos domésticos y otros usos particulares sólo se requieren grupos electrógenos pequeños (que se encuentran con facilidad en el comercio, en la gama de 0,25 a tres kilovatios) pero también es preciso, por lo general, combinarlos con una batería de acumuladores, que ha de tener la capacidad suficiente para almacenar toda la producción de la instalación, de modo que ésta sea autónoma y pueda continuar funcionando durante las calmas. De este modo, los usuarios de estas instalaciones aprovechan energía que se encuentra en la región y, o bien se ahorran los gastos de transmisión o, lo que es más frecuente, suplen la inexistencia de una red transmisora en la región.

Las instalaciones anemoeléctricas pequeñas se han venido vendiendo a millares, especialmente en los países industrializados. Según los datos aportados (W/22), un grupo de 2,5 kilovatios cuesta en total, en fábrica, 1.025 dólares (incluidos 360 de la batería y 175 de la torre), lo que resulta a unos 400 dólares por kilovatio; a ello hay que añadir los gastos de envío y de instalación. A juzgar por datos correspondientes a más de mil de

estas instalaciones, los gastos de reparación no llegan, por término medio, a 5 dólares anuales; centenares de las referidas instalaciones se utilizan para la protección catódica de tuberías de acero enterradas, aunque en general la energía producida por estos grupos pequeños suele destinarse al alumbrado y a otros usos domésticos, así como a otras aplicaciones que requieren poca energía (aparatos de molienda o de mezclado, refrigeración, etc.).

Cabe citar a este respecto dos casos interesantes. Uno de ellos (W/6) se refiere a la instalación de un grupo de 2,5 kilovatios en el puerto de Eilat, Israel, antes de que en la región se construyeran carreteras y existieran otros servicios. La suma total invertida ascendió a unos 2.500 dólares (1.100 del grupo (precio c.i.f.), 1.100 de la batería y 300 de gastos de instalación). El costo de la energía se calcula en 10 centavos de dólar por kilovatio-hora producido, y en 15 centavos por kilovatio-hora consumido, mientras que de obtenerse la energía con grupos diesel y en cantidades parecidas saldría a 18 centavos por kilovatio hora; el autor (Frenkiel) saca la conclusión de que, para zonas no desarrolladas en que las necesidades anuales de energía no lleguen a 10.000 kilovatios-hora y la velocidad media del viento sea de cinco o más metros por segundo, resulten ventajosas las instalaciones eólicas.

El otro caso (W/25) se refiere a una explotación agropecuaria de la India, bastante representativa de las del país, en la que se utiliza una instalación eólica y eléctrica (de seis a ocho kilovatios de potencia nominal pero tan sólo dos a cuatro kilovatios de potencia efectiva, por las condiciones del viento), sin batería, para el bombeo de agua; se calcula que la energía obtenida cuesta menos de la tercera parte de lo que costaría si se obtuviera, en el mismo lugar, con un motor diesel. En otro de los trabajos relativos a la India (W/23) se destaca también la importancia primordial del bombeo de agua (con equipo que ha de ser sencillo y barato para poder ser útil), en tanto que la demanda de electricidad se considera secundaria.

Esto no obstante, no cabe duda de que cada vez será mayor, en las regiones menos desarrolladas, la demanda de pequeñas cantidades de energía eléctrica para diversas aplicaciones. Una de ellas es la de hacer funcionar aparatos de radio; según se afirma en uno de los trabajos (W/38), éstos pueden construirse, acoplados a un generador eólico, por sólo 15 dólares. En países industrializados, como el Japón (W/5), es probable que estas pequeñas instalaciones sólo se empleen en islas, aldeas aisladas y estaciones retransmisoras.

En lo que se refiere a las instalaciones de tamaño mediano que funcionan por sí solas o conjuntamente con generadores de tipo corriente para uso de la colectividad, aún no se tiene mucha experiencia. Al parecer, el caso más destacado y aleccionador es el de Dinamarca (W/1), donde las cooperativas vienen utilizando y administrando instalaciones de esta categoría desde hace mucho

tiempo. Llegó a haber en el país hasta 120 de tales grupos en 1918, y ochenta y siete en 1943, durante los bloqueos de las importaciones de combustibles. Posteriormente, algunas de estas instalaciones han sido transformadas en grandes generadores de corriente alterna. El costo de la energía producida en las instalaciones montadas durante la segunda guerra mundial es, a lo sumo, de cinco milésimas de dólar por kilovatio-hora, lo mismo que en el caso de una instalación montada en Askov en 1929 y que aún sigue funcionando, aunque probablemente, a base de lo que ahora importan los gastos de reposición, habría que multiplicar esa cifra por tres.

En las instalaciones anemoeléctricas de mediana potencia, sólo es posible almacenar una parte de la energía en acumuladores y, por lo tanto, quizá haya que combinar la instalación eólica con alguna instalación de otro tipo para casos de necesidad. Esto obliga a estudiar detenidamente la índole y los tipos de la demanda de carga, distinguiendo entre los usos que son esenciales y que tienen que ser continuos, los usos que sólo son esenciales a ciertas horas, y los usos que pueden hacerse coincidir con un suministro intermitente. Del cuidado con que se estudien estos factores y se planee la instalación desde un principio dependen en gran manera la economía de energía anemoeléctrica, el mínimo uso de las baterías de acumuladores y el logro de la combinación óptima con una instalación de reserva. Para que este sistema funcione en las mejores condiciones posibles de economía y de aprovechamiento de esa producción intermitente, conviene utilizar un mecanismo de distribución automática de la carga como el que describe Walker (W/18), quien llega en sus cálculos a un costo de entre 42 y 56 milésimas de dólar por kilovatio-hora para un sistema totalmente automático, y de mucho menos para sistemas semiautomáticos con entretenimiento a cargo de operarios semicalificados.

En cuanto a las grandes instalaciones eólicas, forzosamente han de funcionar con redes alimentadas por centrales térmicas o hidroeléctricas, y en general tienen como finalidad primordial la de reducir el consumo de combustible o la de conservar agua (bien reduciendo la cantidad que se saca de

los embalses, bien devolviendo agua a éstos mediante bombeo). Como hay que disponer siempre, y con toda seguridad, de la capacidad exigida por la carga básica, la capacidad total de las centrales eólicas del sistema no debe exceder de ciertos límites. También se ha de tener cuidado al acoplar molinos de viento a la red (W/8), a fin de evitar, por ejemplo, que originen exceso de voltaje y perturbaciones en la frecuencia, y por eso quizá sea mejor disponer de bastantes instalaciones eólicas pequeñas más bien que de unas cuantas grandes.

La red absorbe la energía a medida que ésta se produce. Es interesante observar (en el estudio de Juul (W/20), por ejemplo) que, después de transformadas para producir corriente alterna en lugar de continua, las centrales danesas de Bogo y Gedser han aumentado mucho su producción (en kilovatios-hora por metro cuadrado barrido), debido en buena parte a que las grandes redes de alterna pueden absorber una proporción mucho mayor de la producción posible.

Juul (W/21) alega, convincentemente, que, al menos en Dinamarca, las grandes instalaciones eólicas sirven para algo más que para economizar combustible (y las divisas necesarias para importarlo), y sostiene que pueden aportar cierta proporción de la potencia que se requiere, ya que las puntas de demanda y la disponibilidad de viento suelen coincidir. Es más, opina que en Dinamarca debiera satisfacerse con energía anemoeléctrica el 20% del consumo de electricidad.

Si se puede hacer valer la capacidad y otros valores, cabe justificar un costo por kilovatio-hora de la energía anemoeléctrica superior a lo que cuesta el combustible por kWh que se economiza, en las centrales térmicas. De no ser así, este último costo suele ser el factor que establece el costo máximo. En los sistemas hidroeléctricos resulta más difícil fijar el máximo costo admisible, debido en parte a que, en éstos, los costos de transmisión son un factor más importante. De todas maneras, el estudio del papel que pueden desempeñar las grandes instalaciones eólicas en los países industriales no ha terminado, y aún se esperan las conclusiones, sobre todo las que puedan sacarse del funcionamiento de la gran instalación francesa a que Ailleret (GEN/12) ha hecho referencia.

ENERGIA SOLAR

Energía solar disponible ; su medición — Nuevos materiales para la utilización de la energía solar — Calentamiento de agua — Calefacción de edificios — Almacenamiento de calor — Secamiento por energía solar — La cocina a base de energía solar — Preservación de alimentos por refrigeración — Acondicionamiento del aire por energía solar — Desalinización del agua por destilación solar — Hornos solares para operaciones de alta temperatura — Obtención de fuerza mecánica y de electricidad con máquinas solares — Conversión directa del calor solar en electricidad — Conversión directa de la luz solar en electricidad

El gran interés suscitado por la utilización de la energía solar se pone claramente de manifiesto por el gran número de trabajos que, entre los presentados en la Conferencia, tocan ese tema, y que son reflejo de las actividades que en ese campo se desarrollan en Australia, Bélgica, Brasil, Canadá, Chile, España, Estados Unidos, Francia, India, Israel, Italia, Japón, Nueva Zelandia, Países Bajos, Portugal, Reino Unido, República Árabe Unida, República Federal de Alemania, Sudáfrica, Suecia, Suiza y Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas. A esta lista cabría añadir Birmania, China, Grecia, México, Senegal y otros muchos países, por el interés que demostraron al respecto durante la Conferencia, y con posterioridad a la misma, y por su participación en los trabajos del organismo internacional Asociación de Energía Solar Aplicada.

La radiación solar puede aprovecharse para muchos fines mediante la utilización de diversos procesos y tipos de equipo. Las aplicaciones prácticas pueden dividirse, como se hizo en la Conferencia, en aplicaciones para la obtención de fuerza mecánica y de electricidad, de las que se tratará más adelante en esta sección, y aplicaciones con otras finalidades. Entre estas últimas figuran el calentamiento de agua, la calefacción de edificios, el secamiento por energía solar, la cocina a base de energía solar, la refrigeración solar, el enfriamiento de edificios, la destilación de agua y las operaciones de alta temperatura (hornos solares) así como la simple evaporación, utilizada en escala gigantesca para la obtención de sal y otras operaciones industriales. Ahora bien, es necesario ante todo considerar la energía solar disponible y su medición, así como los nuevos materiales que pueden utilizarse en diversas aplicaciones.

ENERGÍA SOLAR DISPONIBLE; SU MEDICIÓN (GR/11)

El conocimiento de la naturaleza y magnitud de la energía solar disponible es fundamental para

la proyección de equipo que permita convertir esa energía a formas útiles y aprovecharla con eficacia. En este campo, la función de los meteorólogos es primordial, como lo demuestran los trabajos técnicos presentados. Aun así, el ingeniero especializado en energía solar ha de aclarar qué datos le son necesarios y, quizá, ocuparse de llenar por sí mismo las lagunas existentes.

Como es sabido, la radiación electromagnética emitida por el sol llega a las capas exteriores de la atmósfera a razón de unas dos calorías por centímetro cuadrado y minuto, que es el valor de la llamada constante solar. Según su distribución espectral o por longitud de onda — de especial interés en relación con los dispositivos fotoeléctricos — esta radiación puede dividirse en rayos ultravioleta, rayos visibles y rayos próximos al campo infrarrojo; estas dos últimas categorías suponen en total más del 90% de la radiación. Al entrar en la atmósfera, los rayos sufren distorsión, y su distribución por longitudes de onda queda alterada. La energía que llega realmente al suelo varía según la latitud, la altitud, la estación del año, la hora del día y otros factores tales como la topografía del terreno, los elementos meteorológicos, y el polvo y la contaminación atmosféricos. La radiación de que se dispone en el suelo se compone de radiación de haz, o directa, que es la única aprovechable en los colectores concentradores, y de radiación difusa; esta última puede representar hasta la mitad de la energía disponible en las zonas tropicales húmedas (S/98) pero tiene menos importancia en los climas despejados y secos. Hay también radiación solar reflejada por la superficie de la tierra, y radiación rechazada de onda larga, como es la radiación nocturna (S/34, S/95), de especial significación para algunas de las aplicaciones de enfriamiento. La radiación global (la directa más la difusa) puede alcanzar un valor de hasta unas 750 calorías por centímetro cuadrado al día en los lugares soleados, pero varía muchísimo

y además se caracteriza por el bajo valor de la densidad de energía. Calculando, por ejemplo, a razón de una caloría por metro cuadrado y minuto, se requiere un área de quince pies cuadrados para recibir la energía calórica equivalente a un kilovatio; de hecho, se precisa un área mucho mayor, puesto que se ha de tener en cuenta los rendimientos prácticos, y las pérdidas, de las conversiones.

Si la radiación no sufriera distorsión al entrar en la atmósfera, sería muy fácil calcular la energía solar disponible en cualquier lugar y momento determinados. Como no es así, ha habido que establecer estaciones de medición, y habrá que establecer más. La mayoría de ellas forman parte de redes meteorológicas cuya labor, coordinada a su vez, en el plano internacional, por la Organización Meteorológica Mundial, recibió especial impulso con ocasión del reciente Año Geofísico Internacional. Unas 500 estaciones de observación piroheliométrica llevan registros de la radiación global, y muchas de ellas también los llevan de la radiación difusa y de la directa. Pero, en su mayoría, estas estaciones están situadas en América del Norte, Europa occidental y Japón, de manera que la densidad de la red de estaciones es bajísima, o prácticamente nula, en las regiones menos desarrolladas y, en particular, en las zonas áridas, donde posiblemente se den condiciones sumamente propicias para la utilización de la energía solar.

De los datos obtenidos y de los estudios efectuados en relación con la radiación solar dan idea los informes presentados a la Conferencia sobre países tales como Australia (S/32), Canadá (S/18, S/20), la India (S/60, S/105), el Japón (S/2) y la República Árabe Unida (S/62). En el caso de la India, por ejemplo, es interesante observar que Bombay tiene menos de tres horas de sol al día durante la estación de los monzones, pero como esa estación es al mismo tiempo la más ventosa, la energía eólica y la solar podrían complementarse mutuamente en muchas partes del país (S/60).

Con la recopilación y estudio de datos se pretende obtener información sobre factores tales como los distintos tipos de radiación; la distribución espectral; los valores totales y la media diaria, mensual, estacional y anual; la frecuencia de los períodos de días sucesivos de baja radiación (S/13), etc. Por ejemplo, el saber en qué períodos es probable que escaseen las disponibilidades, ayuda mucho a determinar las necesidades de almacenamiento de energía. Hasta cierto punto, se pueden hacer cálculos aceptablemente precisos con ayuda de diversas fórmulas basadas en datos tan sencillos como son el número de horas de insolación, pero muchas veces el especialista en energía solar no se contentará con cálculos burdos y con datos de estaciones lejanas. Como estos datos no reflejan los microclimas, parece ser que es indispensable aumentar la densidad de la red de estaciones.

Para medir la radiación existen en la actualidad diversos instrumentos y métodos, que se examinan detalladamente en los trabajos técnicos presen-

tados. Sus autores, meteorólogos, e ingenieros especializados en energía solar, exponen diversas opiniones sobre aspectos tales como el tipo de mediciones deseado, la selección y proyección de los instrumentos, el grado de precisión necesario, la uniformidad en la presentación de datos, la ubicación de las estaciones de medición y el plazo necesario para acumular datos que ofrezcan suficiente garantía a los fines prácticos. Se presta especial importancia al bajo costo de los instrumentos, a su solidez, y a la facilidad de su manejo por personal no especializado, aunque para lograr todo esto tal vez haya que sacrificar cierta precisión.

NUEVOS MATERIALES PARA LA UTILIZACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR (GR/12)

Cada vez se presta mayor atención a la creación de materiales nuevos, y al perfeccionamiento de otros ya existentes, que resulten especialmente adecuados para las instalaciones de aprovechamiento de la energía solar. En este campo, el avance tecnológico es rapidísimo. En gran medida, de este progreso depende que se logre o no reducir las limitaciones técnicas y económicas existentes y abrir nuevas posibilidades de aplicación práctica de la energía solar.

El rendimiento y el coste de los materiales tienen especial importancia en el caso de los colectores de energía solar, tanto si son de placa plana como si son de concentración, debido a que las superficies que se necesitan son relativamente grandes y a que el colector o intercambiador de calor suele constituir el gasto inicial más importante. Por ejemplo, al mejorar el rendimiento de los materiales se necesita menos área de colector por unidad de calor producida, con un efecto económico equiparable al de la introducción de materiales más baratos o más duraderos.

El rendimiento de los materiales lo determinan principalmente aquellas de sus propiedades que se relacionan con la radiación: el poder absorbente, o capacidad de absorber la energía que reciben; el poder emisivo, o pérdida de calor por emisión de energía; la transmisividad, que consiste en dejarse atravesar por las radiaciones (cubiertas de los colectores de plancha plana o de los alambiques solares); y la reflectividad, de especial importancia en los colectores concentradores, que concentran la radiación en una superficie menor para alcanzar una temperatura más elevada. Lo ideal sería, pues, que una superficie absorbente, por ejemplo, tuviera gran poder de absorción y poco poder emisivo, o sea, escasas pérdidas de radiación, mientras que una superficie reflectora debiera tener gran reflectividad para los rayos de todo el espectro solar. Al mismo tiempo, hay que prestar atención a las propiedades físicas de los materiales (tales como peso, espesor, flexibilidad, resistencia y duración), de las que dependen las posibilidades de diseño y, en definitiva, el costo de la energía útil.

Los materiales difieren mucho en cuanto a estas diversas propiedades, como se expone detalladamente en los trabajos técnicos sobre plásticos (S/33), aleaciones de aluminio (S/86), vidrio (S/91) y materiales varios (S/42); continuamente se procura mejorar las propiedades deseables y reducir al mínimo las desventajas puesto que todas han de tenerse en cuenta si se quiere llegar a una solución óptima para la aplicación de que se trate. En particular, se ha creado una gran variedad de películas plásticas, de distintas características, que parecen muy prometedoras en relación con distintas aplicaciones, debido en parte a que pueden reducir muy considerablemente los gastos iniciales. Por lo general, cuando se habla de plásticos se piensa en los colectores de placa plana, pero también se utilizan plásticos metalizados en colectores de reflexión, con soporte de plástico reforzado con fibra de vidrio, en los que el costo de los materiales es sólo de un dólar por pie cuadrado, aproximadamente (S/104); es más, puede que la aparición de nuevos plásticos y nuevas técnicas sea la causa de que los colectores concentradores (al menos los pequeños), cuyo costo se consideraba antes prohibitivo para muchas aplicaciones, hayan pasado a utilizarse hasta en lentes y prismas (S/22), como nuevo procedimiento opcional para la concentración de radiaciones (S/22). Por otra parte, los espejos de vidrio y el aluminio anodizado han sido perfeccionados y se los utiliza en los colectores concentradores; y se producen ya en una sola operación las placas y tubos destinados a los colectores de placa plana. Además, se han hecho experimentos variando la configuración de las superficies receptoras (S/71), para ver de lograr temperaturas mucho más elevadas sin necesidad de seguir la trayectoria del sol⁶. También merecen mencionarse otros experimentos, efectuados en Roma, con nuevas formas de reflectores, como un reflector cilíndrico que forma parte de un cilindro de plástico inflado, que funciona a 150° C, o un tipo más basto de hornillo hecho de sencillos elementos cónicos cubiertos de un material reflector barato.

Ahora bien, quizá el adelanto más sensacional sea el logrado en el campo de las llamadas superficies selectivas (S/6, S/43, S/46). Mediante la aplicación de diversas capas, y otros tratamientos superficiales, se ha logrado elevar el poder absorbente y, en particular, reducir mucho el poder emisor (o lo contrario, en el caso de superficies "frías"), lo que se traduce en menores pérdidas de calor y, por lo tanto, en un mayor rendimiento del colector, o sea en temperaturas más elevadas. Esto resulta especialmente interesante en los colectores de placa plana, que, de no aplicarse dichas capas y tratamientos, tienen una tempera-

tura de equilibrio (aquella en que la energía absorbida es igual a las pérdidas térmicas, con lo que el rendimiento es cero) relativamente baja. Las superficies así tratadas encuentran ya aplicación comercial y se están usando, por ejemplo, en los calentadores de agua que se fabrican en Israel (S/46), el costo de cuyo revestimiento se calcula en un 5% del costo total del colector.

El interés por las superficies selectivas y, en general, por los materiales correspondientes, se ha intensificado a consecuencia del impulso cobrado por las actividades de exploración del espacio, que constituyen también un factor de importancia entre los que coadyuvan a la creación de materiales y dispositivos que permitan la conversión directa de la energía solar en electricidad de que se trata más adelante.

CALENTAMIENTO DE AGUA (GR/13)

Los calentadores solares de agua se utilizan en gran número y constituyen la más extendida de las aplicaciones directas de la energía solar. Los países o regiones sobre los cuales se facilitaron informes en la Conferencia, comprenden los siguientes: Argelia (S/72), Australia (S/38), los Estados Unidos (S/1, S/96), Francia (S/58), la India (S/102), Israel (S/26, S/31), el Japón (S/68), la República Árabe Unida (S/50) y Sudáfrica (S/97), y a ellos podrían agregarse otros muchos. Sin duda alguna, el país en que se emplean más calentadores solares de agua es el Japón, donde a finales de 1960 se utilizaban 350.000 (100.000 de los cuales fueron instalados en dicho año), esperándose llegar al millón en 1965; estos calentadores ahorrarán más de un millón de toneladas de combustible de elevado costo (S/68). En Israel se utilizan unos 10.000 calentadores (S/26). En los Estados Unidos, sólo en el Estado de Florida se usan 25.000; en el norte, estos aparatos se emplean ahora también para calentar piscinas, a fin de poder utilizarlas 150 días por temporada, en lugar de 50 (S/96).

La popularidad de los calentadores solares de agua, que pueden utilizarse satisfactoriamente en las regiones situadas entre los 45° de latitud norte y 45° de latitud sur, en las que las horas de insolación pasen de 2.000 al año (S/58), y que logran calentar el agua hasta una temperatura de 70° C, se explica por la creciente demanda de agua caliente, por la sencillez y, en general, el bajo costo del equipo, y porque pueden competir ventajosamente con otros sistemas de calentar agua.

En su forma más sencilla, el calentador de agua se compone de un "cojín" de plástico que contiene 200 litros de agua y cuesta sólo 6 dólares en el Japón (S/68); no tiene ningún depósito separado de almacenamiento, y el agua se extrae por la tarde o al anochecer para tomar un baño y para otros usos. Una caja aislada, con tapa transparente y regulada a mano, que actúa en la misma forma, cuesta, en el tamaño familiar, 20 dólares como máximo.

⁶ Los dispositivos para seguirla automáticamente suelen ser caros, pero en los colectores concentradores pequeños pueden consistir en un simple dispositivo de muelle que se tensa cada mañana. Naturalmente, los hornillos solares sencillos se hacen girar a mano.

Con todo, la mayoría de los tipos tienen un depósito separado de almacenamiento que permite disponer de agua caliente en cualquier momento (S/1). En esencia, consisten en una superficie absorbente de metal negro (que lleva unos conductos para que penetre el agua que ha de calentarse) dispuesta en una caja aislada, de tapa transparente (para reducir las pérdidas de calor), un depósito de almacenamiento aislado, y las tuberías necesarias para llevar el agua al absorbedor, al depósito y al lugar de utilización. Por lo general, el agua caliente es llevada al depósito (que está a mayor altura) por circulación natural (termosifón), con lo que no se precisa ningún mecanismo, pero también se puede añadir una bomba pequeña para forzar la circulación o variar su dirección. Hay muchas posibilidades de elección en cuanto a estos elementos básicos, como en lo que respecta a los materiales para el absorbedor y para otras piezas, la disposición de los conductos en el absorbedor, y la orientación e inclinación del calentador en relación con la dirección de la energía solar. Entre otras innovaciones pueden señalarse el uso de un revestimiento de plástico para impedir la corrosión (S/68), el de tubos de plástico en los conductos de agua para evitar la congelación (S/96), la inclinación variable (de forma que se tengan en cuenta los cambios de la altitud solar según la estación del año, aumentando así el rendimiento), y el termosifón irreversible (S/58).

Por su tamaño, los calentadores pueden dividirse entre los de uso doméstico y los de mayor capacidad, destinados a establecimientos públicos tales como casas de baños, lavanderías, hoteles, etc. Por lo que respecta a los primeros, el área del colector suele ser de unos dos metros cuadrados; naturalmente, pueden irse agregando colectores, como suele hacerse en las instalaciones grandes. De la misma manera, la capacidad de almacenamiento se acomoda a la cantidad de agua que se necesite, y a la duración de los períodos nublados.

Los gastos de capital (o los precios de venta) de las instalaciones solares para calentamiento de agua varían muchísimo, y no pueden compararse directamente sin tener en cuenta los múltiples factores que entran en juego. Con esta salvedad, cabe advertir que para los calentadores de "tamaño familiar" se dan cifras de entre 6 y 120 dólares en el Japón (S/68), de 75 a 105 en la India (S/102), y de 315 a 400 en Francia (S/58), mientras que en Israel (S/26) se cree posible reducir el precio del colector de 70 a 40 dólares si se los fabrica en gran escala. Naturalmente, las instalaciones mayores costarán más en total, pero menos por metro cuadrado o unidad similar. La vida útil varía también, y oscila entre unos dos años (para el "cojín" de plástico) hasta 15 o más años.

Por estos y otros motivos, es también difícil comparar directamente el costo por unidad de energía útil producida, e incluso calcularlo, aunque algunos de los trabajos técnicos presentados dan cifras que oscilan entre cuatro y treinta milésimas

de dólar por kilovatio-hora. Predomina más bien la tendencia a calcular cuánto se tarda en amortizar la inversión inicial mediante el ahorro de electricidad o de combustible. Ese plazo de amortización oscila, con arreglo a determinadas condiciones o hipótesis, entre unos cuantos meses y muchos años. Por lo general, se aspira a "recuperar" en tres años la suma gastada. El calentamiento de agua por energía solar constituye, pues, una aplicación sumamente prometedora desde el punto de vista económico, por lo menos cuando ese ventajoso cálculo comparativo se basa en lo que se puede utilizar en la práctica, y no simplemente en lo que se puede producir.

CALEFACCIÓN DE EDIFICIOS (GR/14)

A primera vista, puede parecer absurdo calentar edificios con energía solar, ya que, por lo general, cuando más falta hace la calefacción es cuando hay menos sol. Es más, en gran parte el problema estriba en poder almacenar el calor, cuestión de la cual se trata en la sección siguiente, sobre todo porque hasta ahora no se ha dado con ningún dispositivo económico que permita almacenar el calor del verano para utilizarlo en invierno.

Esto no obstante, hay gran interés por la calefacción de edificios con energía solar, sobre todo en los Estados Unidos, donde quizá llegue a constituir la más importante aplicación de dicha fuente (S/30), dada la gran participación de la calefacción de edificios en el consumo total de energía. Esta aplicación interesa primordialmente en las regiones industrializadas templadas que cuenten con radiación solar suficiente durante el invierno y en las cuales los posibles usuarios puedan permitirse el desembolso, relativamente considerable, necesario para economizar después en combustibles. En las regiones insuficientemente desarrolladas que estén en el caso de necesitar calefacción en las viviendas, no podría prosperar, al menos en un futuro próximo, esta clase de sistemas tan complejos y costosos, principalmente por razones económicas; lo mejor sería que empezaran por proyectar viviendas de tipo más conveniente.

Recientemente se han construido, a título experimental, varias casas y laboratorios dotados de sistemas de calefacción solar. Muchos de estos experimentos se describen detalladamente en trabajos técnicos referentes a las instalaciones de los Estados Unidos (S/3, S/30, S/67, S/93, S/114) y del Japón (S/94, S/112), así como a la central sueca instalada en Capri, Italia (S/49). Todos estos experimentos han proporcionado valiosa experiencia de diseño y de funcionamiento, ya que no optimismo en cuanto a sus posibilidades económicas.

Existen diversos puntos de similitud entre los dispositivos utilizados para el calentamiento de agua y los que se usan para la calefacción de edificios; es más, se pueden combinar unos y otros con facilidad. Básicamente, el sistema consiste en

hacer circular aire o agua a través de un colector de placa plana, negro, al objeto de eliminar el calor y llevarlo al interior de la casa o a un depósito de almacenamiento que contenga agua, piedras machacadas o productos químicos que absorban calor y lo liberen después para aplicaciones útiles. En algunos casos, puede hacerse que el sistema actúe a la inversa en el verano, de forma que el aire o el agua calientes pasen por el colector (S/30, S/94) o por alguna otra parte del tejado (S/3) para obtener, gracias a la radiación nocturna, un enfriamiento moderado. Los distintos sistemas existentes difieren entre sí en algunos aspectos de detalle. Ahora bien, para que los sistemas de calefacción de edificios a base de energía solar puedan prosperar en las regiones insuficientemente desarrolladas, quizá haya que prescribir (S/30) que no requieran electricidad auxiliar; que permitan un uso moderado y sencillo de combustibles auxiliares; que permitan variaciones moderadas de la temperatura interior; y que su coste inicial sea bajo. Por desgracia, parece ser que ninguna o casi ninguna de estas condiciones se cumple en las casas actualmente calentadas con energía solar.

La parte más importante, y más costosa, es el colector propiamente dicho. El mayor de los colectores de las casas descritas en los trabajos técnicos presentados mide 1.623 pies cuadrados (150 metros cuadrados) (S/30). El tamaño del colector (para determinada carga de calentamiento) depende de muchos factores, entre ellos de su propio rendimiento y del grado en que se desee contar con la energía solar. El costo de los colectores parece oscilar entre un dólar por pie cuadrado (S/3) y cifras mucho más elevadas. Entre las normas importantes que deben tenerse presente en cuanto a costos y diseños, cabe mencionar (S/93) que el sistema de calentamiento solar y el diseño de la casa deben integrarse de forma que el colector forme parte integrante del tejado o, mejor aun, de la pared orientada al mediodía (en el hemisferio norte); esta última disposición da mejor rendimiento en invierno y hace que el calor vaya hacia la casa, en vez de ir hacia un desván. Las decisiones sobre diseño pueden facilitarse mediante pruebas rápidas, simulando distintas condiciones solares y de rendimiento en una calculadora analógica mecatrónica (S/19).

El interés económico de la calefacción solar de edificios depende en gran parte, prescindiendo de consideraciones absolutas, del coste de la calefacción a base de combustible o de electricidad. Estos últimos procedimientos de calefacción pueden incorporarse deliberadamente como elementos auxiliares, a fin de reducir los gastos de colector y de almacenamiento de calor. Entre los casos descritos, aparte un laboratorio calentado totalmente por energía solar (S/93), las casas han recibido del 25% (S/114) al 95% (S/3) de sus necesidades de calor de colectores solares, con la consiguiente economía de combustible; pero en algunos casos esta economía ha quedado contrarrestada en parte por el

mayor consumo de electricidad en el sistema. Además, las economías de combustible o de electricidad deben también compensar (aunque hasta ahora no lo han hecho, por lo general) los gastos correspondientes a intereses y a depreciación de la inversión suplementaria efectuada en el sistema de calentamiento solar, gastos que en los casos descritos han oscilado entre 1.000 (S/3) y 4.500 dólares (S/30).

Todos estos casos señalan hasta qué punto se depende de la competencia que rige los precios del combustible, así como el hecho evidente de que la calefacción de edificios por energía solar será más atractiva en los lugares en que el combustible sea más caro. Dicho de otro modo, puede calcularse, a base de lo que se economice en combustible, la cantidad adicional que estaría justificado invertir. Si se toman como base del cálculo las circunstancias típicas del nordeste de los Estados Unidos (en cuanto a precio del combustible, días-grado, tipos de interés, etc.) se llega a la conclusión (S/93) de que la inversión en un sistema de calefacción solar (incluido el almacenamiento de calor) puede ser superior hasta en un 130% a la efectuada en equipo de calefacción ordinario, para llegar, en ambos casos, a igual conveniencia económica.

ALMACENAMIENTO DE CALOR (GR/17)

Ya se ha mencionado la importancia del almacenamiento de calor al hablar del calentamiento de agua y de la calefacción de edificios por energía solar. Según se verá más adelante, también en otras aplicaciones, como el enfriamiento de edificios y la generación de energía eléctrica, resultaría ventajoso contar con mejores sistemas de almacenamiento de calor⁷.

Como con la energía solar sólo se puede contar durante un período limitado, y únicamente durante el día, el problema del almacenamiento de calor es de importancia decisiva. En efecto, "cuantas mejoras se logren en los métodos actuales de almacenamiento de energía solar tendrán amplia aplicación y permitirán intensificar y abaratar el aprovechamiento del calor del sol" (GR/17). Queda mucho por hacer para mejorar los sistemas de almacenamiento de calor y reducir su costo. Al parecer, es muy poco lo que se ha progresado en campo tan importante, debido quizá a que los esfuerzos realizados han sido insuficientes y a que no han abundado las iniciativas felices.

La magnitud y la índole del problema del almacenamiento de calor puede considerarse a la luz de diversos factores. Uno de ellos es la localidad o región en que se propone llevar a cabo la aplicación, ya que de ello dependen el número de horas de insolación y la intensidad de la radiación solar. Otro factor es el uso final que haya de darse a la energía, de lo cual depende que el calor haya de

⁷ Los problemas de almacenamiento de energía en general son examinados en la última sección al tratar de la generación de energía eléctrica.

almacenarse a una temperatura más o menos alta. Por ejemplo, si se trata de calentar agua o edificios, basta con temperaturas modestas (y ese es uno de los motivos del relativo éxito de estas aplicaciones), mientras que para cocinar o para hacer funcionar ciertas máquinas solares después de la puesta del sol se necesitarían temperaturas mucho más altas.

Un tercer factor es el período de almacenamiento que se considera necesario o deseable. Para ciertos usos, como el de cocinar por la noche, la posibilidad de almacenar el calor en forma efectiva durante unas cuantas horas puede constituir una gran ventaja. O bien puede desearse un período de almacenamiento de varios días, que permita salvar los intervalos nublados, como ocurre muchas veces en el caso del calentamiento de agua o la calefacción de edificios. Con todo, hay muchas aplicaciones, y entre ellas la calefacción de edificios en especial, para las cuales convendría dar solución económica al problema de poder almacenar calor durante las largas horas de sol del verano a fin de utilizarlo luego en los meses de invierno.

Una consideración de gran importancia en el sistema de almacenamiento es la del material que se utilice para almacenar el calor. Los materiales pueden clasificarse según almacenen esa energía en forma de calor sensible (agua, guijarros) o sufran un cambio de estado o cambios fisicoquímicos dentro de la gama práctica de temperaturas de funcionamiento. El almacenamiento por medio de agua caliente en un depósito aislado, o de guijarros apilados calentados por aire, es sencillo y se utiliza con frecuencia, pero requiere mucho espacio, pues para almacenar el calor suficiente para un par de días o menos, en un clima templado, ocupa hasta un 4% del volumen total de la casa. Incluso un almacenamiento tan breve requiere a veces 25 ó 50 toneladas de guijarros aislados; además, cuando hay que almacenar grandes cantidades de energía, estos sistemas no son baratos. Parece ser que los intentos de destinar todo un sótano al almacenamiento de calor se han limitado a efectuar pruebas con modelos contruidos a escala (S/20).

Con todo, se puede reducir considerablemente el espacio necesario para el almacenamiento (y, por lo tanto, las pérdidas de calor y los gastos de aislamiento) utilizando materiales que sufran un cambio químico o físico al recibir el calor del colector y que luego desprendan el calor mediante un cambio opuesto, como es el de sólido a líquido y viceversa. Se han ensayado unos cuantos de estos materiales y, por ejemplo, Goldstein (S/7) ha hecho un estudio puramente termodinámico, de gran número de ellos, buscando la máxima capacidad de almacenamiento, a fin de identificar los procesos físicos y químicos aplicables al almacenamiento de calor a temperaturas de entre 30° y 200° C. Varían entre sí los diversos materiales y procesos en lo que se refiere, por ejemplo, a si la transición se produce bruscamente, al llegar

a determinada temperatura, o gradualmente; y algunos de ellos pueden no ser reversibles, con lo que se hace necesaria la agitación mecánica. Queda mucho por hacer para hallar materiales y procesos que sean óptimamente adecuados, desde los puntos de vista técnico y, sobre todo, económico. Las ventajas de los nuevos materiales no deben ser anuladas con creces por su elevado precio, al menos en lo que se refiere a aplicaciones prácticas en el suelo.

SECAMIENTO POR ENERGÍA SOLAR (GR/15)

La energía solar puede utilizarse de diversos modos para desecar productos agrícolas y de otra índole. Hace siglos que se emplea con este fin, mediante el simple sistema de extender los productos sobre el suelo y exponerlos directamente a la luz del sol, sistema que, por supuesto, no requiere equipo especial. El secado puede acelerarse, y regularse mejor, en colectores de placa plana, que es otra forma de secado por exposición directa. El secado solar puede ser también indirecto, por calentamiento solar y circulación de aire; en este caso es similar a la calefacción de edificios, pero es menos exigente en cuanto a temperaturas y almacenamiento de calor. Además, pueden utilizarse colectores especulares para el secado (evaporación), como se hace en Birmania y en la India para concentrar el jugo de palma con el fin de producir *joggery* (azúcar sin refinar), evitando así los gastos de transporte y fermentaciones indeseables; se ha calculado que este sencillo concentrador especular, cuyo manejo sólo requiere mano de obra barata, se amortiza en tres temporadas.

La factibilidad económica de un secado solar más regulado, en contraposición al simple secado directo, puede justificarse si se obtiene mejor calidad y mayor limpieza, se ahorra tiempo, hay menos desperdicio, etc. Pero también es posible que haya que justificarla en comparación con el secado eléctrico o con combustibles, con los cuales se pueden obtener resultados iguales y a menudo mejores; o bien, en los sistemas combinados, desde el punto de vista del ahorro de combustible y de energía eléctrica.

El simple secado directo, que ahora ha sido estudiado en algunos de sus aspectos científicos, sigue considerándose como el procedimiento óptimo para el secado de uvas, etc., en Australia (S/4); es más, en dicho país el secado natural ordinario sólo cuesta la mitad que el secado en túnel con calor artificial y proporciona un producto satisfactorio. Una posible aplicación nueva es el secado solar directo de los esquistos bituminosos en el Brasil (S/83), donde se calcula que el costo (constituido casi íntegramente por la manipulación de materiales) asciende a una tercera parte del aumento de valor que experimenta el producto a consecuencia del secado, y se considera que el resultado es muy superior al que se obtiene secando los esquistos con calor producido por combustibles antes de que aquéllos pasen a la

retorta. Con todo, no parece que, en general, se haya adelantado gran cosa en el perfeccionamiento del simple secado al sol, que se utiliza en la elaboración de enormes cantidades de materiales. En vista de este uso mundial del secado al sol, cuyo rendimiento térmico equivale al de millones de galones de petróleo al año, parecería estar justificado el prestar mucha más atención al desarrollo de sus posibilidades.

El método indirecto, basado en el empleo de aire calentado por la energía solar, ha sido ensayado en una escala limitada y puede resultar sencillo a la par que ventajoso en ciertas circunstancias, como se advierte en dos casos de secado de cosechas (S/17, S/53). En uno de estos casos (S/17), por ejemplo, se apreció que la elevación de la temperatura en unos cuantos grados reduce de un 50% a un 75% el tiempo de secado (y, por lo tanto, las probabilidades de que el grano se eche a perder) y que el gasto extra de captar energía solar puede amortizarse en el plazo de uno a cinco años mediante lo que se ahorra en energía eléctrica. Ahora bien, en ambos casos se utilizan ventiladores eléctricos para hacer circular el aire caliente, lo cual supondría una grave limitación en la mayoría de las regiones menos desarrolladas.

LA COCINA A BASE DE ENERGÍA SOLAR (GR/16)

Se ha dicho con frecuencia que la cocina a base de energía solar es una aplicación práctica muy atrayente de esta clase de energía. Por lo general, se considera que los usuarios serían las familias de las aldeas y zonas rurales pobres de las regiones menos desarrolladas.

Se ha trabajado mucho en el estudio y diseño de hornillos solares. Se han construido y ensayado muchos tipos en laboratorios de diversos países, tales como los Estados Unidos (S/87, S/100, S/101), los Países Bajos (S/24), Portugal (S/110), la República Árabe Unida (S/75) y otros más, entre los que cabe citar Birmania, la India, el Japón, el Líbano y la Unión Soviética. Algunos de los tipos se han ensayado sobre el terreno, y así ha ocurrido en particular con el llamado hornillo de Wisconsin, que se ha probado en una escala bastante grande en México (S/87). Pocos son los tipos de hornillo que se fabrican comercialmente. En general, y repitiendo lo que dice Löf (GR/16), "parece ser que el desarrollo de los hornillos solares se encuentra en una fase de incertidumbre que no obstante ofrece grandes posibilidades".

La incertidumbre no estriba tanto en los aspectos científicos y técnicos como en los económicos y prácticos. Para ser económicamente aceptable entre los pobres (salvo que lo financien o subvencionen las autoridades u otros organismos), los hornillos solares no habrían de costar más de unos cuantos dólares (siendo así que en la actualidad cuestan de 10 en adelante), y es posible que ni aun así se hicieran populares. Más vale reconocer

sus inconvenientes desde un principio, pues resaltan mucho más que las ventajas.

Un grave inconveniente es que la cocina a base de radiaciones solares sólo es factible cuando brilla el sol, salvo que se cuente con dispositivos supletorios para el almacenamiento de calor, lo cual aumenta el costo; y, al menos en varios países, la comida principal se hace por la noche, y no durante el día, costumbre en muchas personas que no será fácil cambiar. Salvo que se tomen disposiciones que acarrearían complicaciones y gastos suplementarios, hay que cocinar al aire libre, con todo el calor, y posiblemente ante la expectación, curiosa o famélica, de personas extrañas. Estas son algunas de las razones de que hayan fracasado las pruebas hechas en aldeas indias, por ejemplo, y de ellas se desprende que los antropólogos y sociólogos también tienen un papel que desempeñar en la introducción de los hornillos solares, como de hecho lo desempeñaron en los ensayos realizados en México. Además, puede ocurrir que falte el incentivo económico individual, por lo menos si el costo del combustible utilizado en los hogares es nulo, como suele ocurrir en las regiones en que se emplea mucho el estiércol seco, la leña menuda y los desperdicios agrícolas recogidos por personas que, de otro modo, no tendrían suficiente trabajo.

Las ventajas son más evidentes para quienes han de comprar queroseno y otros combustibles, pues podrán resarcirse con bastante rapidez del gasto que efectúen en el hornillo solar con lo que se ahorrarán en combustible. Hablando en términos más amplios, si se generaliza el uso de los hornillos solares podrá aliviarse de una gran carga a las personas indigentes, economizar estiércol, que puede ser más útil como abono, y evitar que la recogida caprichosa de materiales combustibles ocasione erosión de las tierras y otros daños económicos. La posible importancia de esta aplicación estriba mucho en estos factores y en un progreso técnico que se ofrece prometedor.

Los dispositivos que se emplean para guisar con energía solar son sencillos. Básicamente, son de dos tipos, cualquiera de los cuales permite alcanzar las temperaturas (de hasta 250° C) que requieren las actividades culinarias normales. Uno de ellos es el hornillo concentrador o de tipo directo, denominado muchas veces hornillo solar simplemente, y que se basa en un colector concentrador que concentra la radiación sobre el alimento o sobre el recipiente que se utilice para guisarlo (S/24, S/87, S/100); esencialmente, actúa como una llama. El otro es el hornillo tipo horno, o simplemente un horno solar, que consiste en una caja aislada, con una mirilla transparente expuesta al sol; la radiación se intensifica mediante la acción de reflectores planos situados fuera (S/101) o dentro (S/75) de la tapa de vidrio; es el equivalente de un horno calentado con combustible. Recientemente, Prata ha diseñado (S/110) un sistema mixto en el que pretende combinar las ventajas de ambos sistemas;

en esencia, es un horno parecido a un tambor, con una pequeña mirilla en la que se concentra la radiación de unos colectores concentradores. Todos estos sistemas difieren en cuanto al uso que hacen de los materiales, así como en otros detalles de ordenación, pero probablemente todos ellos podrían fabricarse en los países menos desarrollados, tal vez sin necesidad de grandes importaciones de material.

Cada tipo básico tiene características, ventajas e inconvenientes propios. El hornillo solar concentrador (que se fabrica incluso en forma de sombrilla invertida, de modo que el recipiente en que se cocina va colocado en el "mango" de la sombrilla (S/100)), concentra gran cantidad de calor y está indicado para hervir, estofar, asar a la parrilla y freír, (y también, adaptándolo, para cocer en horno y para asar). Hay que hacerlo girar cada quince a treinta minutos, deja de funcionar durante los intervalos nublosos y su calor se dispersa con facilidad, especialmente si hace viento; pero hace hervir un litro de agua en unos quince minutos y proporciona hasta 500 vatios de energía efectiva para la cocción (S/87), incluso en invierno. En cuanto a los hornillos tipo Wisconsin (S/87), que se han fabricado, en plan no comercial, por centenares, su precio en fábrica se calcula en 16 dólares a base de una producción mediana; podría fabricarse en gran escala una versión modificada de este tipo por algo menos de 9 dólares (utilizando película de plástico aluminizado sobre una envoltura de plástico reforzado). El hornillo de tipo sombrilla (S/100) se vende al por menor a unos 30 dólares, y podría venderse incluso a 10-15 dólares si se produjera en mayor escala en el país de uso; el hornillo indio sale por unos 14-17 dólares. Con nuevos diseños quizás se pueda reducir más el costo, como se ha visto por el hornillo reflector de segmentos, tipo Fresnel, demostrado en Roma.

El horno solar se presta más para asar y hornear, pero también sirve para otras operaciones culinarias. Ofrece protección contra el viento, utiliza parte de la radiación difusa, puede seguir funcionando durante breves períodos de tiempo nublado, pierde calor con menos rapidez (S/75) y, por esto, mantiene la comida caliente por más tiempo, proporcionando en realidad un almacenamiento limitado de calor: este efecto puede prolongarse agregándole materiales que acumulan el calor (S/101). Además, el horno sólo necesita reorientarse con intervalos de 30 a 60 minutos, es relativamente durable y tal vez sea más fácil de fabricar con elementos locales (S/101). En cambio, su intensificación solar es mucho más reducida, como también su capacidad efectiva de cocción, por lo que se necesita mucho más tiempo, por ejemplo, para hacer hervir el agua, según lo comprobó la Dirección de Nutrición de la Organización para la Agricultura y la Alimentación en pruebas comparativas (S/116). Asimismo, el horno puede resultar más pesado y exigir una mayor adaptación del consumidor para las operaciones que por lo

general no se ejecutan en hornos. Los hornos solares están todavía en la etapa experimental y por eso aún no se han determinado con claridad sus costos, que pueden ser del mismo orden que los de los hornillos solares; sus posibilidades parecen depender de la fabricación con materiales locales utilizando incluso los de cestería para el respaldo (S/101); sin embargo, no pueden hacerse demasiadas concesiones por lo que respecta a la calidad (material de aislamiento, reflectores, etc.), por lo cual también parece preferible en este caso una manufactura en pequeña escala antes que un trabajo improvisado de artesanos. Es posible cierta flexibilidad en el tamaño; un horno más grande tendría capacidad para más de una olla, como ocurre en el tipo combinado de Prata, cuyo costo se calcula en unos 18 dólares solamente en materiales.

PRESERVACIÓN DE ALIMENTOS POR REFRIGERACIÓN SOLAR (GR/18)

La refrigeración, cualquiera que sea, puede ayudar mucho a la conservación de los alimentos perecederos, sobre todo en las regiones tropicales y semitropicales. Las grandes posibilidades que encierra la refrigeración ha impulsado a los técnicos a buscar formas de utilizar la energía solar en lugar de la electricidad o los combustibles cuando éstos o no existen o son caros, como ocurre con frecuencia en las regiones subdesarrolladas.

Los sistemas de refrigeración a base de la energía solar no difieren en principio de los sistemas corrientes, que se encuentran con facilidad en el mercado y que funcionan a base de calor o de energía. Pueden distinguirse tres tipos principales, de los cuales el tercero tiene interés especial en este caso. Uno es la máquina que refrigera por compresión, generalmente accionada por un motor eléctrico, que puede recibir la corriente de una instalación de energía solar (de que hablaremos más adelante), característica ésta que sería la única distintiva; las perspectivas de esta forma de refrigeración solar se ven limitadas por las pérdidas de conversión y por la intermitencia del abastecimiento de electricidad. El segundo procedimiento, descubierto por Peltier hace más de un siglo y que ahora despierta un interés creciente en los países adelantados porque no necesita piezas movibles, se basa también en la electricidad, aplicada a una pila termoeléctrica que actúa en forma inversa al generador termoeléctrico de que se habla más adelante.

Pero el tipo más adecuado a la energía solar es aquel en que se utiliza directamente el calor para una refrigeración por absorción-desabsorción. En este caso, el calor proporcionado por un colector solar sustituye al kerosen u otros combustibles que se emplean normalmente en los refrigeradores comerciales de absorción; estos últimos a menudo son muy sencillos y pueden ofrecer una competencia formidable en muchas regiones, sobre todo porque el ahorro en combustible ha de compensar no sólo el costo adicional del colector, sino también

los problemas de funcionamiento, eficiencia y, sobre todo, intermitencia del abastecimiento de energía. La refrigeración por absorción puede emplearse para enfriar directamente una nevera (S/70, S/82), o puede aplicarse para la producción de hielo destinado a la conservación de alimentos (S/109), como se ha demostrado en unidades experimentales; de estos tipos todavía no se produce ninguno comercialmente.

Un ciclo continuo es preferible, pero como la energía solar es intermitente se ha adoptado también un ciclo intermitente en el sistema más sencillo, sobre todo en un pequeño refrigerador solar fabricado en Wisconsin (S/82). Una solución refrigeradora por absorción (v. g., una mezcla de agua y amoníaco) se calienta durante dos horas en un colector concentrador sencillo para hacer pasar el amoníaco a otro recipiente de un sistema hermético en que se licúa bajo presión. El recipiente se coloca después a mano dentro de una nevera, que se mantiene fría hasta el día siguiente: la substancia refrigerante absorbe allí el calor y luego vuelve en forma de vapor al primer recipiente. El sistema también puede funcionar al vacío, como ocurre con un refrigerador de tipo más corriente fabricado en Israel, en el que se aplica un ingenioso sistema de colectores orientado al este y al oeste para lograr una acción cíclica.

El costo del refrigerador solar sencillo de Wisconsin, adecuado para el uso familiar, se calcula (S/82) en unos 50 dólares, más unos 9 dólares para el colector si también se lo utiliza como hornillo solar, en tanto que el costo anual sería de unos 8 dólares, sin contar la manipulación. Otro cálculo es el que hace Oniga (S/70), según el cual los refrigeradores brasileños corrientes de compresor cuestan alrededor de 200 dólares y una unidad solar comparable de absorción, dotada de colector (el modelo se encuentra en construcción), podría costar un 20% más porque ahorra electricidad; en este caso también se considera la posibilidad de usar un colector de posición fija.

Las máquinas de hacer hielo, que tal vez ofrecen las mayores posibilidades para las aldeas, son de tamaño más grande; se informa que una máquina rusa produce 250 kilogramos de hielo al día, en tanto que una máquina solar francesa de absorción hace 100 kilogramos diarios (S/109). Para esta última unidad experimental la inversión se fija en unos 20.000 francos franceses nuevos (alrededor de 4.100 dólares) y, según el número de días de sol, el costo por cada 100 kilogramos de hielo se calcula entre 7 y 10,50 francos franceses nuevos, más la mano de obra; de un estudio detallado sobre el precio del hielo en los diferentes países se desprende que ese costo resulta competitivo en varias regiones, sobre todo en África (S/109).

ACONDICIONAMIENTO DEL AIRE POR ENERGÍA SOLAR (GR/18)

Se están haciendo adelantos hacia la realización del sueño de utilizar la energía solar para el acondicionamiento de aire.

No cabe duda de que éste contribuye tanto a la eficiencia en el trabajo como a la comodidad; en muchos casos puede justificarse por razones económicas y ser algo más que un lujo. Pero también es evidente que un buen sistema de acondicionamiento como el que proporciona la unidad eléctrica de compresión de vapor actualmente en uso no es barato; un sistema como el que se ha difundido en los países ricos no podría tener aplicación doméstica general en las regiones menos desarrolladas.

Afortunadamente, un ajuste moderado de la temperatura, de la humedad o de ambos factores puede hacer una diferencia apreciable. El enfriamiento no tiene que ser continuo y, lo que es del mayor interés, generalmente hay una relación muy directa entre la necesidad de enfriamiento y la disponibilidad de energía solar; no se plantea, pues, el problema del almacenamiento.

Habida cuenta de estos factores, el acondicionamiento de aire a base de la energía solar ha sido objeto de esfuerzos considerables en varios países. Estos presentaron trabajos en la Conferencia, a saber: Australia (S/39), la India (S/37), Israel (S/83), los Estados Unidos (S/82) y Francia, con especial referencia al Sahara (S/64, S/76, S/111). A estos pueden agregarse los casos de enfriamiento por radiación nocturna combinados con sistemas de calefacción de que se habló anteriormente. Esta labor, que todavía tiene carácter experimental y no se presta a conclusiones técnicas y económicas definidas, abarca un amplio campo, desde la utilización misma de la energía en máquinas de enfriamiento hasta modificaciones de los diseños arquitectónicos para mejorar la ventilación y la circulación del aire, lo que constituye los llamados procedimientos auxiliares de acondicionamiento del aire.

Naturalmente, el acondicionamiento del aire a base de energía puede realizarse con sistemas basados en los mismos principios que las máquinas de refrigeración, con la diferencia de que la modificación de la temperatura es menor y la cantidad total de calor extraído mucho mayor. Estos sistemas comprenden el que se basa en la compresión de vapor por medio de la electricidad (con el cual se han hecho comparaciones económicas, como en S/37 y S/39) y en el enfriamiento análogo por bomba de inyección (ambos exigen una elevada temperatura), así como los sistemas por deshumidificación y por absorción-desabsorción; estos dos últimos pueden ofrecer especial interés para la aplicación de la energía solar, especialmente cuando se adaptan para utilizar el calor de poca intensidad emanado de los colectores de lámina plana.

Parece que aún no se ha construido ninguna casa con un sistema de acondicionamiento por absorción-desabsorción de ciclo cerrado que funcione con energía solar, pero se han hecho varios estudios. En la India, por ejemplo, se ha comprobado que en Nueva Delhi parece resultar económicamente viable una unidad cuidadosamente diseñada de

acondicionamiento del aire por medio de la energía solar, que utiliza un sistema de absorción de amoníaco y agua y colectores de lámina plana (S/37). El costo del colector solar es de importancia trascendental, y esto se ha comprobado asimismo en un estudio semejante sobre las perspectivas del acondicionamiento del aire por medio de la energía solar realizado en Australia (S/39).

Sin embargo, en Israel se ha construido una casa (S/88) que utiliza un ciclo abierto de absorción. En esta casa la pared oriental actúa por la mañana como colector y seca el material absorbente a la vez que deja pasar el aire, con lo cual se elimina la humedad interior, mientras la pared occidental, que es hueca, actúa como expulsor del calor; por la tarde se invierten los papeles. Ha sido difícil lograr que la misma pared funcione alternativa y eficazmente como colector y expulsor. Este sistema tiene la ventaja de que no necesita piezas mecánicas ni electricidad, pero el enfriamiento conseguido en esa casa ha sido insignificante y los experimentos se han suspendido temporalmente.

Por otra parte, en las regiones cálidas y secas dotadas de suficiente agua, el aire puede enfriarse por evaporación del agua a costa de un aumento de la humedad, a no ser que el aire más fresco y húmedo se haga pasar a través de paredes huecas, como se propone en un trabajo (S/76). También puede obtenerse algún enfriamiento mediante radiación nocturna y almacenamiento de aire frío, una distribución de las corrientes de aire, el empleo de superficies selectoras "frías" y "calientes" y, naturalmente, mediante un mejoramiento general de los diseños (S/111).

Un caso especial de "climatización" (S/64) supone el control simultáneo de la temperatura y de la humedad así como la producción de agua dulce por destilación para su uso en invernáculos; esta idea puede resultar muy interesante, sobre todo en los lugares desérticos aislados.

DESALINIZACIÓN DEL AGUA POR DESTILACIÓN SOLAR (GR/19)

Dadas la escasez creciente y el costo cada vez mayor del agua dulce, así como las limitaciones que la falta de agua impone al desarrollo económico, se está manifestando un interés cada vez mayor en las posibilidades de convertir el agua de mar y la salobre en agua dulce por destilación solar y otros procedimientos. La destilación solar es el procedimiento más sencillo, ya que en realidad consiste en realizar, en condiciones controladas, la evaporación y la precipitación que se producen en escala inmensa dentro del ciclo hidrológico de la naturaleza.

Muchos países realizan investigaciones sobre la destilación solar, materia sobre la cual se presentaron en la Conferencia trabajos de Chile (S/23), Francia (Argelia) (S/89, S/107), la India (S/115), Italia (S/113), España (S/73), la República Árabe Unida (S/63), los Estados Unidos (S/14, S/28, S/29, S/77, S/85), y la Unión Soviética (S/119). Se están

haciendo progresos, pero también hay bastante dispersión y duplicación de esfuerzos, sobre todo por lo que respecta a los pequeños alambiques solares, que se prestan a la fabricación por artesanos locales y se emplean en gran número, por ejemplo, en Argelia (S/107).

Aunque puede hacerse un cálculo sobre el costo del agua obtenida actualmente por destilación solar, no puede estimarse el posible alcance de su aplicación, sobre todo porque nunca se han estudiado adecuadamente las regiones donde la desalinización del agua podría acometerse en condiciones económicas. Resulta interesante, por ejemplo, la opinión de Nebbia (S/113) de que sería muy útil que se llevara a cabo una investigación de amplitud mundial con respecto al mercado de alambiques solares y, en general, de aparatos que utilicen la energía solar. Entre la información dispersa sobre los costos actuales y admisibles del agua — que, evidentemente, varían mucho según el lugar y el destino que se le dé, pero que en todo caso fijan los límites máximos de costos del agua desmineralizada — un trabajo, por ejemplo, indica que el agua de regadío cuesta 0,20 dólares por metro cúbico en las Islas Canarias (S/73) y el agua dulce para consumo humano hasta 1 dólar por metro cúbico en el litoral sudoriental de España, en tanto que en la asoleada región de Antofagasta (Chile) se asegura que algunas minas pagan la exorbitante cantidad de 15 dólares por metro cúbico de agua dulce (S/23). Por lo tanto, no es sorprendente que en esta misma región se construyera un alambique solar de 22.500 litros diarios de capacidad, al parecer el más grande que se haya instalado hasta la fecha en parte alguna; quizás sea más sorprendente aún el hecho de que fue construido hace unos 80 años y funcionó, según se dice, durante 40 años en forma muy eficiente, incluso para las normas actuales. Tal vez sea desalentadora la falta de progreso en materia de eficiencia, pero no puede esperarse mucho de la simple destilación solar; por lo menos se ha adelantado en relación con otros materiales nuevos y, especialmente, en comprensión científica. Esto puede ayudar a reducir los costos y a hacer posible la aplicación de la energía solar en muchas regiones, incluso si en éstas nunca llegan a alcanzarse los objetivos optimistas fijados en los Estados Unidos (S/29) de 10 centavos de dólar por metro cúbico para el agua de consumo urbano y 3 centavos para el agua de riego.

Los múltiples alambiques pequeños, apropiados para la finalidad doméstica de obtener agua potable se basan todos en el principio del colector de lámina plana y son fundamentalmente sencillos. Provistos de aislamiento en su parte inferior o en su respaldo, suelen consistir en una superficie negra que absorbe el calor que permite evaporar el agua salada; el vapor se convierte por condensación en agua dulce y se escurre de la cubierta transparente a receptáculos de separación. La disposición y los tipos de materiales empleados se describen en los trabajos técnicos y son muy variados.

Los alambiques pequeños producen unos siete u ocho litros por metro cuadrado de superficie de evaporación en verano y un litro en invierno, lo que da un promedio de cuatro o cinco litros diarios y de uno y medio a dos metros cúbicos de agua al año por metro cuadrado de superficie. Los costos varían según el lugar, la construcción y los tipos de materiales empleados; con cubiertas de plástico, por ejemplo, es inferior el costo inicial, pero como esas cubiertas son de menos duración, en definitiva el costo tal vez resulte el mismo. Con cubiertas de vidrio el costo inicial es del orden de 15 a 30 dólares por metro cuadrado, cifra que puede reducirse a unos 10 a 20 dólares, lo cual, con una duración de 20 años, daría un costo que, estimado optimistamente, sería de 0,25 a 0,70 dólares por metro cúbico de agua dulce y, más a tono con la realidad actual, de 1 a 2 dólares, más la mano de obra necesaria para el funcionamiento (GR/19). Es probable que no se tenga en cuenta el costo de la mano de obra en el caso de las unidades de uso doméstico, cuya capacidad se puede aumentar fácilmente haciéndolas de mayor tamaño. Por supuesto, estos pequeños alambiques tienen la ventaja de que se evita el costo de distribuir el agua (siempre que se disponga de agua salina en las cercanías), y de que no exigen fuerza motriz ni mano de obra calificada. Por lo tanto, son muy importantes para el abastecimiento de agua potable.

En cuanto a los grandes alambiques solares, la situación es mucho más difícil, por lo menos cuando su capacidad pasa de los 50.000 litros diarios. Por lo general, deben ser capaces de competir con el agua dulce transportada desde fuentes más distantes, así como con otros procesos de desmineralización, de los cuales hay muchos, o con ambas cosas a la vez. Sobre todo, para que el costo del producto se mantenga bajo es preciso que la inversión inicial sea pequeña o que el alambique tenga una duración larga, o que concurren ambas circunstancias, pero también debe prestarse atención a los costos de conservación y de funcionamiento.

Los grandes alambiques solares probados hasta ahora son sobre todo los de efecto simple, como los instalados en Daytona Beach (Florida), por la Oficina de Desalinización del Agua de los Estados Unidos (S/85). Estos son de tamaño diverso, que llega hasta un máximo de 3.000 pies cuadrados, y ofrecen la oportunidad de estudiar diferentes diseños y materiales, así como los diversos factores que han de tenerse en cuenta, incluso en un aparato al parecer tan sencillo como un alambique de cubeta (S/77, S/107, S/119). Los destiladores grandes pero sencillos son fundamentalmente como los pequeños; evidentemente ofrecen cierta economía de escala, pero por desgracia su rendimiento llega a ser menor, por lo que sólo puede pensarse en una inversión mucho más reducida por metro cuadrado (S/107). Para la producción de menos de un millón de metros cúbicos anuales de agua destinada al consumo humano y a la industria, puede pensarse en una inversión de 4 a 20 dólares por metro cuadrado y, para el abastecimiento de una ciudad, de hasta

2 dólares por metro cuadrado (GR/19), lo que equivale aproximadamente a una décima parte del costo de la nueva gran instalación de Daytona Beach y a una quinta parte de la cifra en que se basan los cálculos del costo de instalaciones de una capacidad de 100.000 galones diarios en los Estados Unidos (S/85). Suponiendo una duración muy larga y un funcionamiento óptimo, puede preverse que, según esos cálculos, estas instalaciones (que aún están por construirse) produzcan en fecha próxima a razón de 0,30 a 0,65 dólares por metro cúbico (de 1,22 a 2,44 dólares por cada 1.000 galones). Así pues, han de descartarse los alambiques sencillos de cubeta como medio de suministrar agua dulce para el riego y para otros usos en gran escala, a no ser que se encuentren mejoras radicales.

Los grandes alambiques solares pueden incluir diversos perfeccionamientos, tales como la convección forzada y la destilación de efecto múltiple (S/14), que elevan el rendimiento pero aumentan el costo inicial, si no el costo del producto. De todos los cálculos hechos respecto de esta categoría, el más optimista es, sin duda, el que llega a un costo de unos 0,08 dólares por metro cúbico de agua dulce (S/28), y a una compensación del costo si la destilación se combina con la producción de energía y esta se vende a unos once milésimos de dólar por kilovatio-hora (S/15), pero este plan se basaría en dotar al colector de una cubierta de plástico de una milla cuadrada de superficie y montada en una sola pieza.

Por supuesto, técnicamente es posible usar colectores de concentración para la producción de vapor que posteriormente se condensa como agua dulce. Aunque no promete mucho de por sí, esta producción de vapor puede combinarse, como piensa Baum (S/119), con la producción de electricidad y también con la desmineralización por electrodiálisis.

Sea cual fuere el tipo de alambique solar que se emplee, el colector constituye la gran partida de gastos que se debe reducir. La manera más radical de eludir este problema consiste en usar como colector un lago o el mar, conforme al llamado procedimiento de Claude en que se utiliza la energía térmica del mar (fundamentalmente fuera de los alcances de la Conferencia) y un condensador de superficie para producir agua dulce haciendo pasar el vapor por una cámara al vacío (accionando a la vez a un turbogenerador), en un sistema de baja presión y de diferencias de baja temperatura. En Chile se ha preparado un proyecto experimental terrestre, basado esencialmente en este sistema (S/23). Mejores posibilidades ofrece un sistema semejante basado en un "estanque solar" artificial que actúa como colector del calor, del cual se habla en una sección posterior, porque su mayor interés radicaría en la producción de energía.

En realidad, el procedimiento de Claude parece ofrecer las mejores perspectivas para la evaporación o destilación en gran escala por medio de la energía solar, especialmente si se combina con la producción de energía. La destilación solar simple en gran

escala parece menos promisorio por ahora y, en ciertas circunstancias, acaso sea mejor llevarla a cabo mediante una serie de unidades pequeñas lo que también ahorraría el costo de la distribución desde una unidad central.

HORNOS SOLARES PARA OPERACIONES DE ALTA TEMPERATURA (GR/20)

Gracias a la óptica de alta precisión, la radiación solar puede concentrarse en una superficie pequeña para obtener temperaturas de hasta 3.500° C. Esto es lo que se hace en varios de los llamados hornos solares, la mayoría de los cuales tienen una capacidad que varía de dos a tres kilovatios (calor) y se encuentran sobre todo en Francia, el Japón, los Estados Unidos y la Unión Soviética. Hasta la fecha los hornos solares se han usado especialmente para pruebas de materiales y para fines de investigación, según ha podido verse en los trabajos presentados por autores de Francia (S/35, S/36, S/48, S/52, S/66, S/81, S/108), el Japón (S/21, S/57) y los Estados Unidos (S/5, S/16, S/25, S/79), y también en las intervenciones de participantes de Australia, el Reino Unido y Yugoslavia. Para muchas de estas finalidades bastan instalaciones en pequeña escala, pues la temperatura conseguida depende de la calidad de la instalación y no de su tamaño.

Desde el punto de vista de la aplicación práctica, el interés se concentra más bien en las posibilidades de emplear los hornos solares para la refinación en pequeña escala de minerales y para ciertos procesos químicos; en esas aplicaciones, tal vez no resulten serias las limitaciones de escala y el costo inicial relativamente alto, si el producto es suficientemente valioso o si la aplicación supera al obstáculo del transporte desde remotas regiones mineras. En realidad, ya se tiene experiencia en escala casi industrial con un horno solar de setenta y cinco kilovatios construido en 1952 en la localidad francesa de Montlouis (S/81) y, hasta cierto punto, con un gran horno construido en 1958 en los Estados Unidos principalmente para la investigación de materiales (S/79). En la misma categoría se encuentra otra instalación de setenta kilovatios construida en el Japón a un costo de 102.000 dólares (más la mano de obra calificada) (S/21). Pero incluso éstas resultan pequeñas comparadas con un horno solar de 1.000 kilovatios que se está construyendo en Odeillo-Font-Romeu, cerca de Montlouis, en los Pirineos franceses; por ejemplo, se espera que produzca de dos a tres toneladas diarias de valiosos óxidos ultrarefractarios (S/81). El horno solar se puede usar, y se usa, para tratar y producir una gran variedad de materiales, entre ellos diversos productos químicos puros, monocristales y metales puros o raros que la técnica moderna requiere para reactores nucleares, para semiconductores y muchas otras finalidades (S/52). El horno solar ofrece algunas ventajas especiales aparte de la facilidad con que alcanza rápidamente temperaturas elevadas, sobre todo la ausencia

de contaminación que permite la preparación de productos puros y de alta calidad.

El horno solar también tiene sus limitaciones, la más seria de las cuales acaso sea la naturaleza del suministro mismo de energía. La intermitencia con que puede disponerse de sol obliga, por ejemplo, a aplicar únicamente los procedimientos y materiales que se adapten a esta situación (S/81), y, naturalmente, sólo permite utilizar la instalación durante menos de la mitad del año, ya que no sería factible almacenar calor de elevada temperatura. En vista del aspecto predominante que ofrecen el interés y la depreciación en la inversión inicial, respecto de lo cual todavía no puede hacerse ninguna generalización desde el punto de vista del costo por kilovatio instalado, el factor de la utilización limitada también ejerce una influencia considerable en el costo del proceso. Otras limitaciones son de carácter técnico, tales como la pequeñez de la superficie receptora de calor, las dificultades de distribuir el calor en el material, y otras parecidas.

Se han hecho muchos progresos, según lo demostraron los trabajos y las deliberaciones técnicas, en la tecnología y el funcionamiento de los hornos solares. Las múltiples consideraciones que han de tenerse en cuenta incluyen factores tales como el tipo y la construcción del concentrador de la radiación, el mecanismo necesario para mantener concentrada la radiación, la disposición en el aparato receptor u horno propiamente dicho (recepción directa, cavidad, etc.) y diversas consideraciones sobre disposición y medidas de los materiales, así como la elección de los materiales de construcción. Cabe observar, por ejemplo, que en los hornos grandes se emplea un concentrador fijo a fin de mantener al horno siempre en la misma posición, y que la radiación se refleja en el concentrador mediante grupos de grandes espejos planos (heliostatos) que siguen al sol; ambos se componen de gran número de segmentos. Los sistemas pequeños requieren sólo un juego de reflectores que ahora pueden fabricarse de plásticos duros y de poco peso, moldeados por centrifugación para darles la forma perfecta. También se han logrado grandes adelantos, estimulados por las investigaciones sobre el espacio ultraterrestre, en el empleo del aluminio, que ofrece ciertas ventajas sobre los espejos de vidrio, por ejemplo para reflejar la radiación ultravioleta que tiene utilidad en las reacciones fotoquímicas, aplicación ésta distinta de la térmica.

OBTENCIÓN DE ENERGÍA MECÁNICA Y DE ELECTRICIDAD CON MÁQUINAS SOLARES (GR/9)

En teoría, el calor solar puede convertirse fácilmente en energía mecánica — sea para su uso directo, como en el bombeo de agua, o para su conversión ulterior en electricidad — por medio de motores de pistón y de turbina, conforme a principios bien conocidos. Sin embargo, este campo general de la técnica ha sido objeto de tanto

estudio, que tal vez se presta menos a nuevos descubrimientos — y con éstos a aplicaciones de interés — que los sistemas de conversión directa de que se habla en las secciones siguientes.

Hasta ahora la energía solar se ha utilizado poco para la producción de energía, aunque en diversos países se han diseñado muchos modelos de aparatos que en la práctica han dado resultado. Ello puede atribuirse a diversos factores, entre ellos las desventajas propias de la fuente misma (sobre todo la intermitencia y la poca intensidad), el desarrollo insuficiente de los motores y los costos prohibitivos de los colectores, así como a la competencia de los motores baratos de gasolina y de otros aparatos de uso corriente. Sin embargo, se han hecho algunos adelantos que son indicio de que tal vez se esté ya allanando el camino a las aplicaciones prácticas —sobre todo de las unidades en pequeña escala— en las regiones menos desarrolladas, y de que quizá valga la pena intensificar la labor en este campo.

Por motivos económicos y técnicos, conviene distinguir entre las unidades de poca energía, es decir, con una capacidad inferior a diez kilovatios, y las unidades que pudieran construirse al nivel de los megavatios. Las unidades pequeñas podrían aprovechar mejor la distribución ilimitada de la energía solar efectuando la recolección y transformación en el lugar de uso. Pueden satisfacer una indudable necesidad — para el bombeo de agua, el alumbrado y otras finalidades que no están sujetas a una demanda rígida de continuidad y almacenamiento — en aquellas regiones subdesarrolladas que carecen de otras formas de energía y que, por consiguiente, permiten considerar cierta elasticidad en los costos así como procedimientos técnicos basados en el uso de calor tanto de alta como de baja temperatura. En cambio, es casi seguro que las unidades de megavatios de capacidad tendrían que competir con las de tipo corriente que producen electricidad a bajo costo, verbigracia, a menos de diez milésimos de dólar por kilovatio-hora; todavía están por construirse y ponerse a prueba en la práctica, pero ya se han señalado algunas posibilidades interesantes en materia de colectores de gran superficie (que funcionan a baja temperatura) para eludir el problema y el costo prohibitivo de los colectores concentradores en gran escala. Cabe señalar que, fuera de un proyecto de 1.200 a 2.200 kilovatios diseñado en la Unión Soviética, que cuesta unos 2.000 dólares por kilovatio y que, por consiguiente, no se ha llegado a realizarse, en los últimos años no se ha pensado seriamente en ninguna instalación grande de alta temperatura a base de colectores concentradores.

De todos modos, los colectores concentradores, debido a la temperatura más alta que producen y al mayor rendimiento consiguiente de los motores, y debido a los adelantos logrados en los nuevos reflectores plásticos y de aluminio, aún pueden encontrar aplicación conjuntamente con motores térmicos muy pequeños, como ser un nuevo tipo de motor de aire caliente (Stirling) del que se

expuso en Roma un modelo en escala reducida, así como en algunos usos especiales. Es interesante señalar, por ejemplo, que se ha ideado (S/27) un motor solar (de alto costo) de quince kilovatios de capacidad para usarlo en el espacio ultraterrestre, donde la intensidad de la radiación es mayor y además completamente previsible, que al parecer podría adaptarse para su uso en la tierra.

Los esfuerzos recientes para encontrar aplicaciones en tierra se han dedicado más bien a evitar el elevado costo de los colectores concentradores, empleando colectores de concentración menor o nula así como flúidos (menos el vapor) y motores adaptados al calor de baja temperatura. Ejemplo de ello es la bomba solar italiana Somor, que fundamentalmente utiliza un colector de lámina plana al que se han agregado espejos laterales para proporcionar cierta concentración, y que utiliza bióxido de azufre en vez de vapor; este aparato se ha puesto en venta a un costo que parece pasar de los 1.000 dólares por kilovatio.

Posiblemente el aparato de mayor interés es uno de Israel (S/54) que se ha demostrado en Roma; se trata de una combinación de turbina y energía solar basada en un nuevo tipo de colector y de turbina que funciona mediante un líquido pesado (monoclorobenceno) cuyo punto de ebullición es inferior al del agua. En este aparato, cuya capacidad es de dos a diez kilovatios, la turbina tiene un rendimiento (del 15% al 20%) tres veces mayor que el de las pequeñas máquinas de vapor y turbinas corrientes; los colectores solares son unidades de doce metros de largo en forma de cilindros plásticos inflados, la mitad de cuya superficie interior está aluminizada para concentrar la radiación en un tubo receptor “negro selectivo” que atraviesa el cilindro hasta un sistema de almacenamiento del calor que proporciona a la turbina una temperatura constante (150° C.). Durante la noche funciona a menos carga. El costo inicial se calcula (S/54) en una suma que varía entre 513 y 1.435 dólares por kilovatio instalado, y el costo del producto entre 34 y 52 milésimos de dólar por kilovatio-hora (absorbiendo el colector más de los dos tercios de este costo), a plena capacidad de producción de energía; este costo es favorable en relación con lo que cuesta la energía obtenida con otros motores primarios pequeños en muchas regiones.

Como sugiere d'Amelio (S/99), incluso los simples colectores de lámina plana tal vez puedan resultar adecuados para captar la radiación solar y hacer funcionar motores solares en forma económica, no sólo si se sustituye el agua por un flúido pesado de bajo punto de ebullición, sino también si al agua se le agrega un flúido secundario inmiscible: al evaporarse a una temperatura más baja, ese flúido extrae calor del agua, la cual actúa como una vasta superficie de contacto para el intercambio de temperatura en la “caldera”. El vapor que pasa hace funcionar al motor, y luego se enfría y condensa merced al agua inyectada por una bomba, para volver al colector por un sistema cerrado.

Una manera diferente y más radical de reducir el costo del colector es el propuesto "estanque solar", que se está probando en Israel (S/47); de tener éxito, puede reducir el costo entre 20 dólares y 1 dólar por metro cuadrado, con lo cual la energía solar entraría en una categoría completamente distinta al posibilitar la producción en escala bastante considerable. Fundamentalmente, el estanque solar es un colector de lámina plana de fondo negro absorbente para captar el calor, pero con capas de agua de distintas densidades (contenido salino) estratificadas de manera que el agua es más pesada hacia el fondo, con lo que el calor del fondo (que ha llegado a los 90° C. en los experimentos) no se pierde pasando por convección a través de las capas superiores hasta llegar a la atmósfera, como ocurre en los estanques corrientes. Los principales problemas técnicos que aún quedan por resolver y en los cuales se está trabajando, incluyen la eficaz extracción de calor del fondo, la forma de impedir que se mezclen las capas del agua agitada por el viento o por otras causas, y la forma de mantener limpio un estanque grande.

Si se logra resolver estos problemas, se calcula (S/47) que el calor de baja temperatura procedente de un "estanque solar" de un kilómetro cuadrado de superficie podría utilizarse para producir energía a razón de diez milésimas de dólar por kilovatio-hora. Se afirma que un estanque de esas dimensiones podría producir unos 30 millones de kilovatios-hora al año con una eficiencia global de conversión del 1,5%, esto es, el equivalente de una central de 6.000 kilovatios con un factor de carga del 58%. Conforme a un cálculo indirecto en que se atribuye a la energía un precio de diez milésimas de dólar, se estima que pueden invertirse 1.080.000 dólares en el colector de "estanque", al paso que a veinte milésimas de dólar, la inversión podría llegar a 4.500.000 dólares. Como en la mayoría de las grandes instalaciones solares productoras de energía que funcionan a base de agua de baja temperatura (procedimiento de Claude), también puede obtenerse agua dulce como subproducto, que en este caso se calcula en 500 metros cúbicos anuales a razón de 0,02 dólares el metro cúbico.

En resumidas cuentas, parece que sólo puede producirse electricidad a base de la energía mecánica obtenida de la radiación solar a razón de unas cincuenta milésimas de dólar por kilovatio-hora (con los actuales conocimientos técnicos), con la posible excepción de las grandes instalaciones que se basan en el principio de las diferencias de baja temperatura. Si están situadas cerca del mar o en lugares semejantes, estas últimas pueden convertir el agua salada en agua dulce dentro de un mismo proceso, ayudando así a resolver la escasez de agua a la vez que la escasez de energía.

CONVERSIÓN DIRECTA DEL CALOR SOLAR EN ELECTRICIDAD (GR/10)

Hasta ahora se ha obtenido electricidad a partir del calor exclusivamente pasando por la etapa de

la producción de energía mecánica que hace funcionar turbinas y motores de pistón. Sin embargo, últimamente, se han hecho muchas investigaciones sobre la forma de convertir el calor directamente en electricidad en virtud de un fenómeno cuyo principio se conoce hace mucho tiempo pero cuyas aplicaciones prácticas se han visto limitadas por una eficiencia extremadamente baja de conversión y por otros problemas. Ahora las perspectivas han cambiado gracias a los rápidos progresos que se vienen haciendo en la física de los sólidos, al descubrimiento de nuevos materiales que tienen propiedades físicas especiales (especialmente los semiconductores), y a otros adelantos. En esta evolución participan los países más desarrollados, aunque no necesariamente en relación con la energía solar como fuente de calor.

El calor solar puede convertirse directamente en electricidad por medio de convertidores termoeléctricos o pilas termoeléctricas (S/10, S/12, S/55, S/84, S/103, S/118) y de convertidores termiónicos o termoelectrónicos (S/78, S/90). Ambos procedimientos requieren calor de temperatura relativamente elevada, que puede obtenerse de la radiación solar concentrada (y de otras fuentes de calor), o bien una gran diferencia de temperatura entre un extremo caliente y uno frío, y están sujetos a las limitaciones termodinámicas de este ciclo (sin embargo, la eficiencia se ha elevado del 1% o menos a aproximadamente un 10%, en recientes adelantos encaminados a lograr una eficiencia teórica de un 35%). Ambos ofrecen la ventaja de una operación sencilla, la de no requerir piezas móviles y también las ventajas que reportan el poco peso, la solidez de construcción y, posiblemente, la larga duración. Estos procedimientos, aún se encuentran en la fase experimental, estimulada por la investigación del espacio ultraterrestre, y parecen adecuados especialmente para cargas pequeñas, desde unos cuantos vatios hasta unos cuantos kilovatios, o para el bombeo de agua de riego, para las comunicaciones y otros diversos usos que exigen poca energía, en las regiones remotas.

En los generadores termoeléctricos, se produce una corriente eléctrica calentando una conexión en un circuito o aro de dos metales o semiconductores diferentes, y manteniendo fría la otra conexión (mediante agua inyectada por bombeo, como ocurre en el bombeo de agua). La eficiencia depende muchísimo de los metales utilizados, asunto del que tratan varios de los trabajos técnicos. Otro factor básico es la temperatura alcanzada y soportada por los metales; parecen requerirse colectores de alta concentración, si bien un experimento francés (S/55) se basa en colectores de lámina plana. Ya están funcionando varias unidades pequeñas, de menos de un kilovatio, como la de Wisconsin que está provista de un simple reflector plástico (S/103).

Por lo menos en un caso (S/12), se informa que la producción de pequeños generadores termoeléct-

tricos está pasando de la fase experimental a la de fabricación, con vistas a fines tales como el bombeo de agua en regiones subdesarrolladas. Aunque todavía puede ser demasiado pronto para sacar conclusiones definidas de orden económico, en este caso se señala, como la mejor estimación por el momento, que el costo de la energía eléctrica obtenida de un generador termoeléctrico solar con una capacidad de 50 a 1.000 vatios es de unas 70 a 100 milésimas de dólar por kilovatio-hora. Este costo puede reducirse considerablemente con una producción en masa y una larga duración del aparato.

Las perspectivas en cuanto al costo de los convertidores termiónicos son más inciertas. Funcionan por calentamiento (hasta unos 2.000° C.) de un cátodo, que luego emite electrones hacia un ánodo frío colocado a una distancia extremadamente pequeña, dentro de un tubo al vacío o en una cámara llena de vapor de cesio, por ejemplo, para neutralizar la carga del espacio situado entre los electrodos. Entre las dificultades se cuentan las de la creación y el mantenimiento del vacío, la protección de los cátodos de alta temperatura contra la oxidación, y el logro de una temperatura suficientemente elevada con reflectores solares bastante baratos; algunos de estos problemas (como el de la oxidación) son menos serios en las aplicaciones al espacio ultraterrestre, para las cuales se está realizando gran parte de esta labor y en las cuales el costo tiene menos importancia. El costo del convertidor solamente puede ser del orden de 2.000 dólares por kilovatio (S/90), pero merced a nuevos adelantos y a la producción en masa los costos podrían reducirse considerablemente.

CONVERSIÓN DIRECTA DE LA LUZ SOLAR EN ELECTRICIDAD (GR/10)

La radiación solar tiene la singular virtud de que en gran parte se recibe como luz, y esta luz (o fotones hiperenergéticos) puede transformarse directamente en electricidad por medio de convertidores fotoeléctricos. Estos son de dos tipos. Uno es la célula fotogalvánica (o fotoquímica), que por desgracia aún no es práctica pero que, si llega a tener éxito, resolvería también el problema del almacenamiento o de la intermitencia; en este documento no se hablará más de ella. La otra es la célula fotovoltaica o célula fotoeléctrica, comúnmente conocida como batería solar.

La conversión fotovoltaica experimentó un cambio radical en 1954, cuando se introdujo la llamada célula solar de silicio y se aumentó la eficiencia de la conversión de una fracción de un 1% a aproximadamente un 6%. Desde entonces se ha progresado mucho, y en diversos países se están produciendo elementos en escala industrial.

Acaso la aplicación más espectacular de las células solares sea en el espacio ultraterrestre, donde proporcionan energía a los transmisores de radio de los satélites artificiales, en un caso después de

haber pasado ya más de tres años. También se emplean en gran número en tierra para fines que requieren poca energía, como los receptores de radio y otros instrumentos de comunicación. En el Japón, por ejemplo, durante el período comprendido entre 1958 y 1960 se equiparon con baterías solares seis estaciones repetidoras y ocho faros (S/11). En estas diversas aplicaciones, las células solares están conectadas con acumuladores para regular la corriente y también para la alimentación de energía cuando falta la luz solar.

Las células solares, que se utilizan desde hace mucho tiempo en los exposímetros fotográficos, y que ahora producen energía, funcionan de la manera siguiente. Se produce una corriente eléctrica cuando la luz solar llega a un material sensible en una célula fotovoltaica provista de capa de barrera y compuesta de materiales de distinta valencia, como ser el silicio que es tetravalente, el arsénico que es pentavalente y el boro que es trivalente; la luz llega al acomplamiento ($p - n$) de capas que separan los electrones negativos de las cargas positivas, y se produce una corriente eléctrica que pasa por los hilos conectados a las capas. La mayoría de las células solares se han basado hasta ahora en el silicio monocristal cortado en láminas delgadas, pero se han hecho experimentos con diversos materiales, según se explica en los trabajos técnicos (S/11, S/40, S/44, S/56, S/65, S/106, S/118).

La energía producida por las células fotoeléctricas todavía es demasiado cara para el consumo ordinario en el hogar, y se utiliza sobre toda para cargas pequeñas en aplicaciones especiales. Lo característico es que el costo inicial se mide por lo general en vatios en vez de kilovatios. Pero los costos se han reducido considerablemente, en parte gracias a una mayor eficiencia (que ahora llega de un 12% a un 14%), con las llamadas células de rejilla y con la reacción espectral modificada (S/44, S/65). Por ejemplo, se indica que en los Estados Unidos el costo de las células de silicio por vatio de capacidad ha bajado de 500 dólares en 1958 a 275 en 1960 y a 175 en 1961 (S/65), en tanto que el costo actual en el Japón es de unos 130 dólares por vatio (aparato totalmente montado con batería y controles) y se espera que dentro de poco se reducirá en un tercio (S/11). Aún a estos costos, la energía que se obtiene es competitiva en ciertas situaciones en que de otra manera habría que recurrir a cables de transmisión poco económicos para poca energía (S/11, S/44), o de lo contrario no habría energía en absoluto.

Tendrán que lograrse nuevas y apreciables reducciones de los costos, a partir de la actual inversión de 100.000 dólares o más por kilovatio, para que esta energía pueda aplicarse en gran escala. Se están haciendo progresos notables en esta dirección, como los experimentos sobre la concentración de la radiación solar, que han demostrado (GR/10) que el rendimiento puede aumentarse en veinte veces; pero con una concentración intensiva de su

radiación la célula solar tiene que enfriarse para evitar que la eficiencia se resienta por efectos del calor.

Se han hecho menos progresos en la búsqueda de otros materiales distintos del silicio puro, que es muy caro, y sobre todo en la sustitución del silicio monocristal por silicio policristal en técnicas de deposición que exigen pocos gastos. Varios tra-

bajos (S/44, S/56, S/106) indican las posibilidades de una innovación radical con películas delgadas de sulfuro de cadmio, que pueden llegar a colocar a las células fotoeléctricas en una categoría totalmente nueva y tal vez permitan reducir el costo a menos de 1.000 dólares por kilovatio, poniéndolo así al alcance económico de las aplicaciones en el hogar.

USO CONJUNTO DE DIVERSAS FUENTES DE ENERGIA Y PROBLEMAS DE ALMACENAMIENTO DE LA ENERGIA

Se ha señalado reiteradamente que la intermitencia del suministro constituye tal vez la limitación más seria para el aprovechamiento práctico de la energía solar y la energía eólica en muchos campos⁸. Fuera de las aplicaciones en que la intermitencia no importa mucho — como en el bombeo de agua para riego — o es admisible por otras circunstancias, tal vez haya que buscar la manera de salvar esta limitación antes de que pueda difundirse la aplicación a fines que requieren un suministro continuo o a horas determinadas. En condiciones ideales la limitación se superaría encontrando la manera económica de almacenar la energía (o el producto energético utilizable) obtenida de la fuente de que se trate. También pueden combinarse varias fuentes de energía mediante la multiplicación de los instrumentos que convierten la energía bruta dándole una forma utilizable e intercambiable.

Es imposible almacenar la energía solar o la energía eólica como tales para su conversión ulterior en electricidad. Lo más que podría hacerse en el caso de la energía solar sería almacenar el calor, pero esto exigiría un alto grado de aislamiento para el calor de elevada temperatura así como la solución de otros problemas, cuestión que aún no parece haberse abordado en la práctica fuera de los aspectos examinados anteriormente al hablarse de los motores basados en la radiación térmica del sol. Al revés, cuando se utilizan mecanismos simples, se convierte la energía bruta y se almacena el producto.

El procedimiento más conocido consiste desde luego en utilizar acumuladores eléctricos. Estos resultan útiles para fines que requieren poca energía, pero por desgracia no ofrecen ninguna economía considerable ni han sido objeto de ninguna innovación tecnológica reciente que prometa una reducción verdaderamente radical del costo, que Evans calcula (GEN/3) en 13,50 dólares por kilovatio-hora de capacidad de acumulación, sobre una base anual.

Mejores posibilidades parece ofrecer la considerable labor consagrada a las llamadas pilas electro-

químicas. Según se las describe en los trabajos técnicos, éstas pueden clasificarse en dos tipos: las que se basan en la electrólisis, y las que se basan en la regeneración térmica.

En la primera categoría se encuentran los sistemas de células de hidrógeno y oxígeno (GEN/3 y 9), en que se utilizan la electricidad (obtenida de la energía solar, de la eólica o de otras fuentes) para electrolizar el agua (o ciertos productos químicos en sistemas comparables) descomponiéndola en hidrógeno y oxígeno, que en seguida se almacenan por separado; los dos gases pueden volver a combinarse en cualquier momento para producir electricidad en una pila electroquímica, que tiene la ventaja de no necesitar piezas movibles, y, sobre todo, de una gran eficiencia. Hasta ahora, el electrolizador y la célula generadora no se han combinado en un solo aparato (GEN/9), ni se encuentra en venta ninguna de tales células. Aunque todavía quedan por resolver algunos problemas, las pilas electroquímicas de esta clase pueden llegar a tener gran importancia (también para lograr una mayor eficiencia en el uso de los combustibles corrientes), sobre todo cuando se reduzca el costo de las mismas. Evans (GEN/3), por ejemplo, sugiere que el costo anual de la pila electroquímica más electrolizador puede reducirse entre 100 y 30 dólares por kilovatio, incluso con unidades bastante pequeñas, en tanto que Bacon (GEN/9) calcula la inversión global de capital en unos 325 dólares por kilovatio para una instalación de 100 kilovatios; a su juicio es prematuro considerar el sistema para los países subdesarrollados, y además duda de que pueda competir con los generadores diesel pequeños, salvo donde el petróleo es relativamente caro. Sin embargo, se están efectuando muchas investigaciones en esta materia, que también es objeto de gran interés en muchos lugares.

Las pilas electroquímicas de regeneración térmica (GEN/2 y 14) o células galvánicas térmicamente reversibles se basan en un ciclo cerrado y se recargan por medio del calor más bien que mediante una corriente eléctrica externa. En un solo aparato combinan la producción de electricidad, la regeneración (o separación del hidruro de litio o de otros productos químicos para que más tarde vuelvan a combinarse y produzcan energía) y el almacenamiento; aún se encuentran en una fase experimental inicial, pero pueden encontrar aplicaciones interesantes en combinación con el aprovecha-

⁸ Esta sección está limitada en gran parte a las aplicaciones que requieren fuerza motriz, ya que el almacenamiento del calor para las aplicaciones térmicas se examinó anteriormente en la parte que trata solamente de la energía solar. La energía geotérmica está naturalmente almacenada en el subsuelo y no plantea problemas de intermitencia.

miento del calor de la radiación solar muy concentrada.

En otra investigación relativa a la energía solar se trata de encontrar soluciones por medio de la conversión y el almacenamiento fotoquímicos (GEN/2), inclusive el empleo de la fotólisis en vez de la electrólisis para efectuar la separación. Si estos procedimientos tienen éxito, resolverían también el problema del almacenamiento. Sin embargo, los resultados prácticos susceptibles de amplias aplicaciones energéticas todavía escapan al enfoque fotoquímico, salvo los que se producen en la fotosíntesis natural.

En realidad, como dice Daniels (GR/2), "es evidente que por ahora no se han hecho nuevos adelantos técnicos en el almacenamiento de la energía que ofrezcan grandes posibilidades económicas". Pero agrega que el progreso de los conocimientos científicos fundamentales pueden conducir finalmente a la creación de mecanismos útiles.

Entre tanto, pueden encontrarse soluciones prácticas al problema de la intermitencia combinando distintas fuentes de energía, es decir, obteniendo energía de otras fuentes que no sean la que lleva en sí todos los elementos respectivos. Existen muchas posibilidades en este sentido.

Las vastas redes eléctricas pueden absorber con facilidad un suministro intermitente, como hemos visto al hablar de la energía eólica. En efecto, las fuentes intermitentes permiten ahorrar combustible y conservar el agua. Principios semejantes pueden aplicarse en escala más reducida, como en el almacenamiento mecánico que se obtiene al elevar agua por bombeo para generar energía más tarde mediante una pequeña turbina hidráulica. También puede comprimirse el aire para emplearlo como

energía mecánica. Otro modo de proceder sería almacenar el hidrógeno obtenido por electrólisis basada en la energía eólica o la energía solar, para utilizarlo en lugar de otros combustibles en los motores de combustión.

La combinación puede llevarse más adelante, de suerte que la energía que haga falta se produzca por completo a base de las fuentes energéticas locales, como lo analiza detalladamente Golding (GEN/5). Este procedimiento tiene mucho en su favor (aparte de que elimina los costos de distribución) como un modo de superar la intermitencia y, especialmente, de proporcionar energía para gran número de pequeñas comunidades en las regiones subdesarrolladas que dependen de la energía muscular y carecen hasta de las comodidades más elementales. En tales condiciones, un requisito previo es el estudio cuidadoso de las modalidades de la demanda de energía, para utilizar los mecanismos y las fuentes locales de energía más convenientes desde el punto de vista económico, y para satisfacer las necesidades esenciales del consumo que tiene lugar a horas determinadas, en cuyo caso es imposible utilizar fuentes intermitentes.

Sin embargo, a veces puede exagerarse la importancia del problema de la intermitencia, y simultáneamente la del almacenamiento de la energía, que incluso puede resultar mucho más costoso que la producción misma de energía. Así parece ocurrir sobre todo en lo relativo a las comunidades rurales de las regiones subdesarrolladas donde, según señala Kapur (GEN/8) la cuestión de la intermitencia es menos importante, y donde "lo que se requiere es crear condiciones para el trabajo y el esfuerzo productivo en el máximo grado posible, dentro de las actuales limitaciones de la investigación y del desarrollo".

ANEXOS

ANEXOS

Anexo 1

PROGRAMA

Conferencia de las Naciones Unidas sobre Nuevas Fuentes de Energía

Energía solar — Energía eólica — Energía geotérmica

Del 21 al 31 de agosto de 1961

Lunes 21 de agosto a las 17 horas

Apertura de la Conferencia

Martes 22 de agosto a las 10 horas

I. Sesión general: nuevas fuentes
de energía y aprovechamiento de la energía

II. *Sesiones técnicas sobre nuevas fuentes de
producción de energía*

III. *Sesiones técnicas sobre el uso de la
energía solar con fines distintos de la
producción de energía*

II.A. *Energía geotérmica*

Martes 22 de agosto a las 16 horas

II.A.1. Prospección de las zonas geotérmicas e investigaciones necesarias para evaluar su capacidad: Descripción de las zonas conocidas — prospección preliminar — investigación a los efectos de la evaluación de las zonas

III.A. Energía solar disponible e instrumentos de medición: Datos sobre la radiación — redes — instrumentos necesarios

Miércoles 23 de agosto a las 10 horas

II.A.2. Captación de energía geotérmica y producción de electricidad geotérmica:
a) Métodos y equipo para captar energía geotérmica
b) Utilización de la energía geotérmica para generar electricidad

III.B. Nuevos materiales y su empleo en la utilización de la energía solar: plásticos, metales, vidrio, superficies selectivas y otros materiales

Miércoles 23 de agosto a las 15.30 horas

II.A.3. Utilización de la energía geotérmica para calefacción y planes combinados para obtener electricidad, calefacción y/o subproductos:
a) Aprovechamiento con fines de calefacción
b) Planes combinados y subproductos

III.C. Utilización de la energía solar con fines de calefacción:
1. Calentamiento de agua
2. Calefacción de edificios

Jueves 24 de agosto a las 10 horas

II.A.4. Análisis y resumen de los problemas que plantea la energía geotérmica y conclusiones: sesión plenaria

II.B. *Energía eólica*

Jueves 24 de agosto a las 16 horas

II.B.1. Determinación del régimen de los vientos e investigación de los sitios apropiados para aeromotores

III.C. Utilización de la energía solar con fines de calefacción (*continuación*).
3. Secamiento por energía solar
4. La cocina a base de energía solar
5. Almacenamiento de calor

Viernes 25 de agosto a las 10 horas

- | | |
|--|--|
| B.2. Diseño y prueba de las centrales de energía eólica: | III.D. Utilización de la energía solar con fin enfriamiento: |
| a) Diseño | 1. Preservación de alimentos por refrigeración |
| b) Prueba | 2. Enfriamiento de edificios y deshumidificación |

Viernes 25 de agosto a las 16 horas

- | | |
|---|---|
| II.B.3. Evolución reciente y posibles adelantos en la utilización de la energía eólica: | III.F. Utilización de la energía solar para operaciones de alta temperatura (hornos solares): |
| a) Para el hogar y otros usos particulares | Equipo — investigaciones — posibles utilizaciones |
| b) Para la comunidad (unidades aisladas o combinadas con generadores de tipo corriente) | |
| c) Para su uso en conexión con redes eléctricas | |

Lunes 28 de agosto a las 10.30 horas

- II.B.4. Análisis y resumen de los problemas que plantea la energía eólica y conclusiones: sesión plenaria
- II.C. *Energía solar*

Lunes 28 de agosto a las 16 horas

- II.C.1. Utilización de la energía solar para producir fuerza mecánica y electricidad:
- a) Por medio de motores de émbolo y turbinas

Martes 29 de agosto a las 10 horas

- | | |
|---|--|
| II.C.1. Utilización de la energía solar para producir fuerza mecánica y electricidad (<i>continuación</i>); | III.E. Utilización de la energía solar para producir agua dulce: destiladores de pequeño y gran tamaño |
| b) Por conversión directa en electricidad por medio de: | |
| i) Convertidores termoeléctricos | |
| ii) Células fotoeléctricas | |

Martes 29 de agosto a las 16 horas

- II.D. Utilización combinada de diversas fuentes de energía y problemas del almacenamiento de energía:
1. Utilización combinada de diversas fuentes de energía
2. Problemas del almacenamiento de energía

Miércoles 30 de agosto a las 10 horas

- III.G. Análisis y resumen de los problemas que plantea la energía solar y conclusiones sobre su utilización con fines distintos de la producción de energía: sesión plenaria

Miércoles 30 de agosto a las 16 horas

- III.G. (*continuación*) y II.C.2. Análisis y resumen de los problemas que plantea la energía solar y conclusiones relacionadas con la producción de energía y otros fines: sesión plenaria

Jueves 31 de agosto a las 10 horas

Sesión de clausura

Anexo 2

PRESIDENTES Y RELADORES			
<i>Presidentes</i>		<i>Temas del programa</i>	
Excmo. Sr. Egidio Ortona, Embajador Extraordinario y Plenipotenciario, Director General del Departamento de Asuntos Económicos, Ministerio de Relaciones Exteriores, Gobierno de Italia.	Sesión de apertura	Mr. Peder Gerhard Poulsen-Hansen, General Manager, Association of Danish Electricity Works, Chairman, Danish Wind Power Committee, Livjaeergade 22, Copenhagen, Dinamarca.	II.B.3
Dr. Ibrahim Helmi Abdel-Rahman, Director del Instituto de Planificación Nacional, 5 Sh. Zaki Cairo, República Arabe Unida		Mr. Frank E. Studt, Principal Scientific Officer, New Zealand Department of Scientific and Industrial Research, P.O. Box 8018, Wellington, Nueva Zelandia.	II.A.1
M. Pierre J. Ailleret, Directeur général adjoint de l'Electricité de France, 12 place des Etats-Unis, Paris XVIème, Francia.		Professor M.S. Thacker, Director-General, Council of Scientific and Industrial Research, New Delhi, India.	II.B.4
Mr. H. Christopher H. Armstead, Senior Co-ordinating Engineer, Merz and McLellan, Milburn, Esher, Surrey, Inglaterra.	II.A.2	<i>Relatores</i>	
Dr. Freddy Ba Hli, Director General, Union of Burma Applied Research Institute, Kanbe, Yankin P.O., Rangún, Birmania.	III.C.3 III.C.4 III.C.5	Professor Valentin A. Baum, Director Adjunto del Instituto Krzhizhanovsky de Energía, Jefe del Heliolaboratorio, Leninsky Prospect 19, Moscú, URSS.	II.C.1b)
Profesor Valentin A. Baum, Director Adjunto del Instituto Krzhizhanovsky de Energía, Jefe del Heliolaboratorio, Leninsky Prospect 19, Moscú, URSS.	III.F	Profesor Pedro Blanco, Director de la Comisión Nacional de Energías Especiales, Ortega y Gasset 40, Madrid 6, España.	III.A
Dr. Emanuele Cambilargiu, Profesor de Dinámica Eólica, Escuela de Ingeniería, Montevideo, Uruguay.	II.B.2	Dr. Gunnar Bodvarsson, Chief, Department for Natural Heat, State Electricity Authority, P.O. Box 40, Reykjavik, Islandia.	II.A.3
Dr. Averardo Chierici, Director General "Lardello" S.p.A., Lungarno Pacinotti 16, Pisa, Italia	II.A.4	Dr. Farrington Daniels, Professor Emeritus, Chemistry, Solar Energy Laboratory, Engineering Experiment Station, Mechanical Engineering Building, University of Wisconsin, Madison 6, Wisconsin, EE.UU. de A.	II.D.2
Dr. Farrington Daniels, Professor Emeritus, Chemistry, Solar Energy Laboratory, Engineering Experiment Station, Mechanical Engineering Building, University of Wisconsin, Madison 6, Wisconsin, EE.UU. de A.	II.C.2 III.G	Padre Emmanuel S. de Breuvery, S.J. Director, Resources and transport Branch, Department of Economic and Social Affairs, United Nations, Nueva York.	I II.A.4 II.B.4 II.C.2-III.G
Sir Vincent Z. de Ferranti, Chairman, International Executive Council of World Power Conference, Henbury Hall, Macclesfield, Cheshire, Inglaterra.	III.A	Dr. John A. Duffie, Director, Solar Energy Laboratory, Mechanical Engineering Building, University of Wisconsin, Madison 6, Wisconsin, EE.UU. de A.	III.B
Mr. Andrew J. Drummond, Chief Research Physicist, The Eppley Laboratory, Inc., 12 Sheffield Avenue, Newport, Rhode Island, EE.UU. de A.		Profesor Jesús Ruiz Elizondo, Comisión Nacional de Energía Nuclear, Ana María Mier No. 13, México 12, D.F., México.	II.A.1
Profesor Carlo Garbato, 15 Via Pietro A. Mascagni, Milán, Italia.	II.A.3	Mr. Edward W. Golding, The Electrical Research Association, Danes Inn House, 265 Strand, Londres, W.C.2, Inglaterra.	II.B.1 II.D.1
Profesor Julio G. Hirschmann, Vicerrector, Universidad Técnica Federico Santa María, Casilla 110-V, Valparaíso, Chile.	III.E	M. Cyril Gomella, Ingénieur conseil, 5, rue Berthezène, Algiers, Argelia.	III.E
Dr. K. Langlo, Jefe de la División Técnica, Organización Meteorológica Mundial, Ginebra, Suiza.	II.B.1	Dr. Ulrich Hütter, Professor, Technische Hochschule, Stuttgart, Holzgartenstrasse 9A, Stuttgart-N., Wuerttemberg, República Federal de Alemania.	II.B.3
Profesor Henry Masson, Doyen de la Faculté des Sciences de Dakar, Dakar, Senegal.	II.C.1	Dr. George O.G. Löf, Consulting Chemical Engineer, 512 Farmers' Union Building, Denver 3, Colorado, EE.UU. de A.	III.C.2 III.C.3 III.C.4
Mr. Roger N. Morse, Officer in Charge, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Engineering Section, P.O. Box 26, Highett, Victoria, Australia.	III.C.1 III.C.2	Dr. Kailash N. Mathur, Director Central Scientific Instruments Organization, Council of Scientific and Industrial Research, Rafi Marg, New Delhi 1, India.	III.C.5
Senhor Teodoro Oniga, Director del Centro de Estudios de Mecánica Aplicada, Ladeira dos Tabajaras, 94 — Apart. 705, Guanabara, Río de Janeiro, Brasil.	III.D	Dr. Isao Oshida, Director, Kobayashi Institute of Physical Research, 2431 Kokuburji, Kitatama-gun, Tokio, Japón.	III.C.1
Mr. David Owen, Executive Chairman, Technical Assistance Board, United Nations, Nueva York.	Sesión de clausura	Mr. John H. Smith, Geothermal Engineer, Ministry of Works, P.O. Box 8024, Wellington, Nueva Zelandia.	II.A.2

<i>Relatores (continuación)</i>	<i>Temas del programa</i>	<i>Temas del programa</i>
Dr. Harry Tabor, Director, National Physical Laboratory of Israel, Danziger Building, Hebrew University, Jerusalén, Israel.	II.C.1a) III.D	M. Félix Trombe, Directeur de recherches, Centre national de la recherche scientifique, 27, boulevard Saint-Michel, Paris Vème, Francia. Dr. Louis Vadot, Neyrpic-Sogreah, Grenoble (Isère), Francia.
		III.F II.B.2

Anexo 3

REGISTRO DE PARTICIPANTES EN LA CONFERENCIA

*Por países o territorios**

Afganistán	2	Indonesia	1	Sudán	1
Arabia Saudita	3	Irak	1	Suecia	9
Argentina	1	Irán	1	Suiza	6
Australia	4	Islandia	4	Tailandia	2
Austria	1	Islas Viti	1	Tanganyika	1
Bélgica	7	Israel	11	Túnez	1
Bermuda	1	Italia	87	Turquía	1
Birmania	1	Jamaica	1	Union de Repúblicas Socialistas Soviéticas	2
Bolivia	2	Japón	14	Uruguay	1
Brasil	2	Jordania	1	Venezuela	1
Bulgaria	1	Kenia	1	Yugoeslavia	3
Canadá	3	Líbano	4		
Ceilán	1	Libia	1	<i>Organismos especializados y organismo internacio- nal de las Naciones Unidas</i>	
Colombia	2	Luxemburgo	2	Organización de las Na- ciones Unidas para la Agricultura y la Ali- mentación	8
Congo (Leopoldville)	2	Madagascar	1	Organización de las Na- ciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura	2
Costa de Marfil	1	Malí	3	Organización Internacio- nal del Trabajo	1
Checoslovaquia	2	Marruecos	5	Organización Meteoroló- gica Mundial	3
Chile	4	México	3	Organización Mundial de la Salud	1
China (Taiwán)	3	Níger	2	Organización Internacio- nal de Energía Ató- mica	1
Dinamarca	2	Nigeria	3		
Ecuador	2	Nueva Zelanda	5		
El Salvador	4	Países Bajos	5		
España	7	Pakistán	1		
Estados Unidos de Amé- rica	63	Perú	1		
Filipinas	3	Polonia	2		
Francia ^b	57	Portugal	1		
Gabón	1	Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte	16		
Ghana	1	República Federal de Alemania	7		
Grecia	3	República Árabe Unida	8		
Hungría	2	Senegal	4		
India	11	Sudáfrica	2		
Indias Occidentales Neerlandesas	1				

* Clasificados por lugar de residencia, salvo en el caso de los que tienen su dirección en una Embajada, los representantes de organismos especializados de las Naciones Unidas, y otras personas tales como estudiantes o investigadores que se hallan en el extranjero y que dan la dirección de su país.

^b Incluyendo II de Argelia.

Anexo 4

LISTA DE LOS TRABAJOS PRESENTADOS EN LA CONFERENCIA

*Por temas del programa **

TEMA I DEL PROGRAMA. NUEVAS FUENTES DE ENERGÍA Y APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA

INFORME GENERAL: Relator, E. S. de Breuvery, GR/1 (GEN).

Social aspects of the source of energy (A long-range view): I. H. Abdel-Rahman (República Árabe Unida), GEN/11.

The abundance of natural energy and the choice of the means of harnessing it: P. J. Ailleret (Francia), GEN/12.

Reflections on the economic value of geothermal energy, wind power and solar energy, especially after conversion to electrical energy: A. M. Angelini (Italia), GEN/1.

Energy as a factor in the progress of under-developed countries: H. Hartley (Reino Unido), GEN/4.

Socio-economic considerations in the utilization of solar energy in under-developed areas: J. C. Kapur (India), GEN/8.

Problems of energy supply in under-developed countries with special regard to new sources of energy: H. F. Mueller (República Federal de Alemania), GEN/7.

New sources of energy in the world energy economy: B. C. Netschert y G. O. G. Löf (EE.UU. de A.), GEN/10.

New sources of energy and energy development: M. S. Thacker (India), GEN/15.

TEMA II.A.I DEL PROGRAMA.

PROSPECCIÓN DE LAS ZONAS GEOTÉRMICAS E INVESTIGACIONES NECESARIAS PARA EVALUAR SU CAPACIDAD

INFORME GENERAL: Relator, J. Ruiz Elizondo, GR/3(G).

The technique of testing geothermal wells: V. V. Averiev (URSS), G/74.

Geothermal drillholes-physical investigations: C. J. Banwel (Nueva Zelandia), G/53.

Structural study of the roccastrada zone in prospecting for steam by geophysical, gravimetric and electrical methods: F. Battini y P. Menut (Italia), G/26.

Physical characteristics of natural heat resources in Iceland: G. Bodvarsson (Islandia), G/6.

Exploration of subsurface temperature in Iceland: G. Bodvarsson y G. Palmason (Islandia), G/24.

Prospecting of geothermal fields and exploration necessary for their adequate exploitation performed in various regions of Italy: R. Burgassi (Italia), G/65.

Geothermal prospecting for endogenous energy: R. Burgassi, F. Battini y J. Mouton (Italia), G/61/Rev.1.

The contribution of geophysical methods to the survey of geothermal fields: J. J. Breusse (Francia), G/25.

Geochemical aspects of thermal springs in El Salvador: G. Christmann (El Salvador), G/10.

Geothermal energy in Mexico: L. F. de Anda, J. I. Septién y J. R. Elizondo (México), G/77.

Geological environment of hyperthermal areas in continental United States and suggested methods of prospecting them for geothermal power: L. C. Decius (EE.UU. de A.), G/48.

Investigations for geothermal power at Waitapu, New Zealand: N. D. Dench (Nueva Zelandia), G/17.

Scientific factors in geothermal investigation and exploitation: D. Doyle y F. E. Studt (Nueva Zelandia), G/55.

Review of geothermal activity in El Salvador: F. Durr (El Salvador), G/11.

Operations research and possible applications to geothermal exploration programming: F. Durr (El Salvador), G/20.

Geothermal drillholes-Chemical investigations: A. J. Ellis (Nueva Zelandia), G/42.

Natural steam geology and geochemistry: G. Facca y F. Tonani (Italia), G/67.

Preliminary investigation of the Rabaul geothermal area for the production of electric power: A. C. L. Fooks (Nueva Zelandia), G/12.

Geology of New Zealand geothermal steam fields: G. W. Grindley (Nueva Zelandia), G/34.

The present position regarding the utilization of geothermal energy and the role of geothermal energy from the viewpoint of energy economy in Japan: H. Harada y T. Mori (Japón), G/57.

Geology and geothermal energy in the Taupo Volcanic Zone, New Zealand: J. Healy (Nueva Zelandia), G/28.

Isotope geology in the hydrothermal areas of New Zealand: J. R. Hulston (Nueva Zelandia), G/31.

Alternative methods of determining enthalpy and mass flow: R. James (Nueva Zelandia), G/30.

Sampling of geothermal drillhole discharges: W. I. J. Mahon (Nueva Zelandia), G/46.

Photogeology applied to natural steam exploration: F. Marchesini (Italia), G/69.

Thermal anomalies and geothermal fields related to recent plutonism in Tuscany: G. Marinelli (Italia), G/58.

Geology of The Geysers Thermal Area, California: J. R. McNitt (EE.UU. de A.), G/3.

Sampling and analysis of gases in natural - steams wells: R. G. C. Nencetti (Italia), G/76.

Water collection and analysis from thermal sources and vapour manifestations: R. G. C. Nencetti (Italia), G/73.

Methods and apparatus used for wellmouth measurements in the Larderello geothermal zone when a new well comes in: R. G. C. Nencetti (Italia), G/75.

The hyperthermal waters of Pauzhetsk, Kamchatka, as a source of geothermal energy: B. I. Piip, V. V. Ivanov y V. V. Averiev (URSS), G/38.

Results and power generation implications from drilling into the Kilauea Iki Lava Lake, Hawaii: D. E. Rawson y W. P. Bennett (EE.UU. de A.), G/5.

Chemical analysis and laboratory requirements: experience in New Zealand's hydrothermal areas: J. A. Ritchie (Nueva Zelandia), G/29.

Known geothermal fields in Japan: M. Saito (Japón), G/1.

Methods used in exploring geothermal fields in Japan, with particular reference to geophysical methods, their role and results: K. Sato (Japón), G/23.

Geophysical prospecting in New Zealand's hydrothermal fields: F. E. Studt (Nueva Zelandia), G/33.

* Bajo cada tema del programa se indica en primer lugar el informe general del Relator, que lleva el mismo título del tema; a continuación se mencionan los respectivos trabajos. Estos últimos figuran por orden alfabético de autores, indicándose el título del trabajo, el nombre del autor, el país y la signatura del documento. Se han abreviado las signaturas de los documentos mediante la eliminación del prefijo "E/CONF.35/" que precede a las letras "GR", "GEN", "G", "W" y "S" de la signatura completa.

Prospecting of hydrothermal areas by surface thermal surveys: G. E. K. Thompson, C. J. Banwell, G. B. Dawson y D. J. Dickinson (Nueva Zelandia), G/54.

Preliminary evaluation of geothermal areas by geochemistry, geology and shallow drilling: D. E. White (EE.UU. de A.), G/2.

Chemical prospecting of hot spring areas for utilization of geothermal steam: S. H. Wilson (Nueva Zelandia), G/35.

TEMA II.A.2 DEL PROGRAMA. CAPTACIÓN DE ENERGÍA GEOTÉRMICA Y PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD GEOTÉRMICA

INFORME GENERAL: Relator, J. H. Smith, GR/4(G).

II.A.2 a). *Métodos y equipo para captar energía geotérmica*

The development and performance of a steam-water separator for use on geothermal bores: P. Bangma (Nueva Zelandia), G/13.

The prevention of blowouts and other aspects of safety in geothermal steam drilling: R. S. Bolton (Nueva Zelandia), G/43.

Air drilling in geothermal bores: R. Contini y U. Cigni (Italia), G/70.

Methods of exploitation of geothermal energy and the equipment required: R. Contini (Italia), G/71.

Geothermal drilling practices at Wairakei, New Zealand: S. B. Craig (Nueva Zelandia), G/14.

Silencers for geothermal bore discharge: N. D. Dench (Nueva Zelandia), G/18.

Methods and equipment for harnessing geothermal energy at The Geysers, California, U.S.A.: E. F. English (EE.UU. de A.), G/51.

Drilling equipment used at Wairakei Geothermal Power Project, New Zealand: W. M. Fisher (Nueva Zelandia), G/49.

The development of casings for geothermal boreholes at Wairakei, New Zealand: A. C. L. Fooks (Nueva Zelandia), G/16.

Corrosion investigations in hydrothermal media at Wairakei, New Zealand: P. K. Foster, T. Marshall y A. Tombs (Nueva Zelandia), G/47.

The measurement of borehole discharges, downhole temperatures and pressures, and surface heat flows at Wairakei: A. M. Hunt (Nueva Zelandia), G/19/Rev.1.

Management, in relation to measurements, and bore maintenance of an operating geothermal steam field: I. A. Innes (Nueva Zelandia), G/15.

Drilling for natural steam and hot water in Iceland: T. Karlsson (Islandia), G/36.

Rotary drilling for geothermal energy: G. Minucci (Italia), G/66.

A study on the characteristics of rotary drilling practice in steam or hot spring wells in volcanic territory: R. Nijima (Japón), G/22.

Casing failures in geothermal bores at Wairakei: J. H. Smith (Nueva Zelandia), G/44.

The organization for and cost of drilling geothermal steam bores: J. H. Smith (Nueva Zelandia), G/40.

Drilling mud in geothermal drilling: D. I. Woods (Nueva Zelandia), G/21.

II.A.2 b). UTILIZACIÓN DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA PARA GENERAR ELECTRICIDAD

Geothermal power development at Wairakei, New Zealand: H. C. H. Armstead (Reino Unido), G/4.

Experience generating geothermal power at The Geysers Power Plant, Sonoma County, California, U.S.A.: A. W. Bruce (EE.UU. de A.), G/8 Y Add.1.

Planning of a geothermo-electric power plant: technical and economic principles: A. Chierici (Italia), G/62.

Remarks on the operation of the geothermal power stations at Larderello and on the transportation of geothermal fluid: P. Di Mario (Italia), G/68.

Proposed 15-megawatt geothermal power station at Hveragerdi, Iceland: S. S. Einarsson (Islandia), G/9.

Thermal cycles for geothermal sites and turbine installation at The Geysers Powers Plant, California: A. Hansen (EE.UU. de A.), G/41.

Progress realized in installations with endogenous steam condensing turbine-generator units: A. Saporiti (Italia), G/60.

Progress realized in installations with endogenous steam turbine-generator units without condenser: A. Saporiti (Italia), G/64.

Latest trends in the design of geothermal plants: F. P. Villa (Italia), G/72.

Comparison between surface and jet condensers in the energetic and chemical utilization of Larderello's boraciferous steam jets: C. F. Zancani (Italia), G/50.

TEMA II.A.3 DEL PROGRAMA. UTILIZACIÓN DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA PARA CALEFACCIÓN Y PLANES COMBINADOS PARA OBTENER ELECTRICIDAD, CALEFACCIÓN Y/O SUBPRODUCTOS

INFORME GENERAL: Relator G. Bodvarsson, GR/5(G)

II.A.3 a). *Aprovechamiento con fines de calefacción*

Production and distribution of natural heat for domestic and industrial heating in Iceland: G. Bodvarsson y J. Zoëga (Islandia), G/37.

Recent developments in New Zealand in the utilization of geothermal energy for heating purposes: R. N. Kerr, P. Bangma, W. L. Cooke, F. G. Furness y G. Vamos (Nueva Zelandia), G/52.

Geothermal heating for industrial purposes in Iceland: B. Lindal (Islandia), G/59.

Greenhouses by geothermal heating in Iceland: B. Lindal (Islandia), G/32.

The extraction of salt from sea-water by multiple effect evaporators using natural steam: B. Lindal (Islandia), G/27.

Salt productions by geothermal energy in Japan: Y. Mizutani (Japón), G/7.

Reykjavik Municipal District Heating Service and its experience in utilizing geothermal energy for domestic heating: H. Sigurdsson (Islandia), G/45.

II.A.3 b) *Planes combinados y subproductos*

Technical and economic problems due to the presence of chemical impurities in fluids of geothermal origin: C. Garbato (Italia), G/63.

The recovery of lithium and other minerals from geothermal water at Wairakei: A. M. Kennedy (Nueva Zelandia), G/56.

Utilization of geothermal energy in the production of boric acid and by-products from the Larderello soffioni: D. Lenzi (Italia), G/39

TEMA II.B.1 DEL PROGRAMA.

DETERMINACIÓN DEL RÉGIMEN DE LOS VIENTOS
E INVESTIGACIÓN DE LOS SITIOS APROPIADOS PARA AEROMOTORES

INFORME GENERAL: Relator, E. W. Golding, GR/6(W).

Measurement of the characteristic parameters of wind power for the selection of favourable sites for wind-driven generators: A. G. Argand (Francia), W/35.

Métodos especulativos en la prospección eólica: M. Ballester (España), W/7.

Prospección eólica encaminada al aprovechamiento de su energía: J. A. Barasoain y L. Fontán (España), W/16.

Diagramas del viento en el sur argentino y consideraciones sobre la energía eólica y solar del país: E. Cambilargiu (Uruguay), W/10.

Wind flow over hills (in relation to wind power utilization): J. H. Frenkiel (Israel), W/33.

Wind measurements: M. Jensen (Dinamarca), W/14.

Some aspects of site selection for wind power plant on mountainous terrain: K. O. Lange (EE.UU. de A.), W/28.

Wind measurement in meteorology: A. Perlat (Francia), W/13.

Some aspects of wind profiles: S. Petterssen (EE.UU. de A.), W/26.

Wind power resources of India with particular reference to wind distribution: K. P. Ramakrishnan y S. P. Venkiteshwaran (India), W/19.

Wind measurement techniques: M. Sanuki (Japón), W/2.

Studies of wind behaviour and investigation of suitable sites for wind-driven plants: K. H. Soliman (RAU), W/4.

Wind measurements in relation to the development of wind power: J. R. Tagg (Reino Unido), W/12.

Survey of existing wind observational information: World Meteorological Organization, W/11.

TEMA II.B.2 DEL PROGRAMA.

DISEÑO Y PRUEBA DE LAS CENTRALES DE ENERGÍA EÓLICA

INFORME GENERAL: Relator, L. Vadot, GR/7(W).

II.B.2 a). Diseño

Regulating and control system of an experimental 100-kilowatt wind electric plant operating parallel with an AC network: S. Armbrust (República Federal de Alemania), W/34.

Experiencias sobre eolo-generadores con hélice detrás de una torre con sección de perfil aerodinámico: E. Cambilargiu (Uruguay), W/39.

Classical designs of small drainage windmills in Holland, with considerations on the possibilities of their improvement and adaptation in less developed countries: A. Havinga (Países Bajos), W/32.

The aerodynamic layout of wing blades of wind turbines with high tip-speed ratio: U. Hütter (República Federal de Alemania), W/31.

The design of wind power plants in Denmark: J. Juul (Dinamarca), W/17.

Wind power plants suitable for use in the national power supply network: A. Ledacs-Kiss (Hungría), W/36.

Wind turbines of new design in Japan: T. Moriya y Y. Tomosawa (Japón), W/5.

Consideration on a natural aspect of harnessing of wind power: P. P. Santorini (Grecia), W/37.

A wind-driven electrical generator directly coupled into an AC network-the matching problem: L. H. G. Sterne (Bélgica), y G. Fragoianis (Grecia), W/30.

Small wind electric plant with permanent magnetic generator: F. Villinger (República Federal de Alemania), W/27.

II.B.2. b) Prueba

Testing of the Gedser Wind Power Plant: V. Askegaard (Dinamarca), W/15.

Various relationships between wind speed and power-output of a wind power plant: G. Clausnizer (República Federal de Alemania), W/3.

Test methods applied to the Andreau-Enfield 100-kilowatt wind-driven generator at Gran Vent: F. H. Delafond (Francia), W/9.

The testing of wind power plant: J. G. Morrison (Reino Unido), W/24.

TEMA II.B.3 DEL PROGRAMA. EVOLUCIÓN RECIENTE Y POSIBLES ADELANTOS EN LA UTILIZACIÓN DE LA ENERGÍA EÓLICA

INFORME GENERAL: Relator U. Hütter, GR/S(W).

II.B.3 a). Para el hogar y otros usos particulares

Wind power plant in Eilat: J. H. Frenkiel (Israel), W/6.

Experience with Jacobs wind-driven electric generating plant, 1931-1957: M. L. Jacobs (EE.UU. de A.), W/22.

Small radio, powered by a wind-driven bicycle dynamo: H. Stam, H. Tabak y C. J. van Vlaardingen (Países Bajos), W/38.

Adaptation of windmill designs with special regard to the needs of the less industrialized areas: H. Stam (Países Bajos), W/40.

Operation of Allgaier type (6-8 kw) wind electric generator at Porbander, India: S. P. Venkiteshwaran (India), W/25.

A method for improving the energy utilization of wind-driven generators, and their operation with conventional power sets: J. G. Walker (Reino Unido), W/18.

Utilization of random power with particular reference to small-scale wind power plants: J. G. Walker (Reino Unido), W/29.

II.B.3 b). Para la comunidad (unidades aisladas o combinadas con generadores de tipo corriente)

Developments and potential improvements in wind power utilization: J. T. Arnfred (Dinamarca), W/1.

Windmill types considered suitable for large-scale use in India: P. Nilakantan, K. P. Ramakrishnan y S. P. Venkiteshwaran (India), W/23.

II.B.3 c) Para su uso en conexión con redes eléctricas

Problems of automatic coupling of a wind-driven generator to a network: F. H. Delafond (Francia), W/8.

Recent developments and potential improvement in wind power utilization for use in connexion with electrical networks in Denmark: J. Juul (Dinamarca), W/20/Rev.1.

Economy and operation of wind power plants: J. Juul (Dinamarca), W/21.

TEMA II.C.1 DEL PROGRAMA. UTILIZACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR PARA PRODUCIR FUERZA MECÁNICA Y ELECTRICIDAD

II.C.1 a). Por medio de motores de émbolo y turbinas

INFORME GENERAL: Relator, H. Tabor, GR/9(S).

Thermal machines for the conversion of solar energy into mechanical power: L. d'Amelio (Italia), S/99.

Power as by-product of competitive solar distillation: R. L. Hummel (EE.UU. de A.), S/15.

The development of a 15-kilowatt (el) solar mechanical engine for space application and its relationship to the fabrication of similar engines for terrestrial usage: B. T. Macauley (EE.UU. de A.), S/27.

Large area solar collectors (solar ponds) for power production: H. Tabor (Israel), S/47.

Small turbine for solar energy power package: H. Tabor y J. L. Bronicki (Israel), S/54.

Economic study of the operation of atmospheric solar collectors in the Sahara: M. Touchais (Francia), S/45.

II.C.1 b). *Por conversión directa en electricidad*

INFORME GENERAL: Relator, V. A. Baum, GR/10(S)/Rev.1.

Semi-conductor converters of solar energy: V. A. Baum, R. P. Borovikova y A. S. Okhotin (URSS), S/118.

II.C.1 b)i). *Por medio de convertidores termoelectricos*

Preliminary tests of a solar heated thermoelectric converter: R. R. Breihan, F. Daniels, J. A. Duffie y G. O. G. Löf (EE.UU. de A.), S/103.

Solar heated thermionic converter: G. N. Hatsopoulos y P. J. Brosens (EE.UU. de A.), S/78.

Thermoelectric generators for the conversion of solar energy to produce electrical and mechanical power: K. Katz (EE.UU. de A.), S/12.

Thermoelectric generator: M. Koyabashi (Japón), S/10.

New solar thermoelectric generators-description, results and future prospects: R. G. Michel (Francia), S/55.

Technical research trends at IESUA for energy production from solar radiation: M. Perrot y M. Touchais (Francia), S/84.

The conversion of solar energy to electricity by means of the thermionic converter: V. C. Wilson (EE.UU. de A.), S/90.

II.C.1 b)ii). *Por medio de células fotoeléctricas*

Utilization of silicon solar batteries: M. Kobayashi (Japón), S/11.

Applications of photovoltaic cells in communications: G. L. Pearson (EE.UU. de A.), S/40.

Latest developments in the field of photovoltaic conversion of solar energy: M. B. Prince (EE.UU. de A.), S/65.

Low-cost photovoltaic conversion of solar energy: P. Rappaport y H. I. Moss (EE.UU. de A.), S/106.

Thin film photovoltaic devices for solar energy conversion: L. E. Ravich (EE.UU. de A.), S/56.

Developments in photovoltaic solar energy conversion for earth surface applications: M. Wolf (EE.UU. de A.), S/44.

TEMA II.D DEL PROGRAMA.

UTILIZACIÓN COMBINADA DE DIVERSAS FUENTES DE ENERGÍA Y PROBLEMAS DEL ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

II.D.1 *Utilización combinada de diversas fuentes de energía*

Power from local energy resources: E. W. Golding (Reino Unido), GEN/5.

II.D.2. *Problemas del almacenamiento de energía*

INFORME GENERAL: Relator, F. Daniels, GR/2(GEN).

Energy storage based on electrolyzers and hydrogen-oxygen fuel cells: F. T. Bacon (Reino Unido), GEN/9.

Electrochemical energy storage for intermittent power sources: G. E. Evans (EE.UU. de A.), GEN/3.

Chemical conversion and storage of concentrated solar energy: R. J. Marcus y H. C. Wohlers (EE.UU. de A.), GEN/2.

The chemical conversion of solar energy to electrical energy: C. R. McCully (EE.UU. de A.), GEN/6.

Gas production by destructive distillation using solar heat in combination with a self-sufficient gas generator and gas storage tank for continuous gas and power supply: H. Melzer (Brasil), GEN/13.

Metal hydride fuel cells as energy storage devices: R. C. Werner y T. A. Ciarlariello (EE.UU. de A.), GEN/14.

TEMA III.A DEL PROGRAMA.

ENERGÍA SOLAR DISPONIBLE E INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

INFORME GENERAL: Relator, P. Blanco, GR/11(S).

Solar energy in Canada: E. A. Allcut y F. C. Hooper (Canadá), S/20.

Some aspects of the climatology of solar radiation: J. N. Black (Australia), S/13.

Meteorological data on sunshine duration and insolation for practical applications: R. A. Dogniaux (Bélgica), S/59.

Instrumentation for the measurement of solar radiation — a survey of modern techniques and recent developments: A. J. Drummond (EE.UU. de A.), S/117.

Solar radiation availability in the United Arab Republic: M. K. Elnesr y A. M. Khalil (RAU), S/62.

Aspects of radiation climatology for the utilization of applied solar energy: E. F. Flach y W. Morikofer (Suiza), S/74.

Devices for measuring the coefficient of nocturnal radiation of various materials under local conditions of use: M. Gondet (Francia), S/95.

Measurements of total radiation in networks: K. Gräfe (República Federal de Alemania), S/61.

Simple instruments for the assessment of daily solar radiation intensity: H. Heywood (Reino Unido), S/9.

The estimation of monthly mean values of daily total short wave radiation on vertical and inclined surfaces from sunshine records for latitudes 40° North — 40° South: J. K. Page (Reino Unido), S/98.

Solar energy-networks and actinometric instruments: C. Perrin de Brichambaut (Francia), S/80.

Practical use of solar radiation diagrams to determine the efficiency, operations costs and depreciation charges of solar power plants: M. Perrot y M. Touchais (Francia), S/41/Rev.1.

The absolute measurement of solar energy: R. Peyturaux (Francia), S/69.

Solar radiation and its measurement at a network of stations, with special reference to India: L. A. Ramdas (India), S/105.

Solar radiation records in Australia and their presentation: C. M. Sapsford (Australia), S/32.

Instrumentation for solar radiation measurements: P. Schöffler, P. M. Kuhn (EE.UU. de A.) y C. M. Sapsford (Australia), S/92.

The amount and properties of solar radiation in Japan and the instruments for its measurements: K. Sekihara (Japón), S/2.

Solar radiation measurements in Canada: E. J. Truhlar, J. R. Latimer, C. L. Mateer y W. L. Godson (Canadá), S/18.

Distribution of solar energy over India: S. P. Venkiteshwaran (India), S/60.

Nocturnal heat loss from horizontal surfaces in arid regions: J. I. Yellott y P. Kokoropoulos (EE.UU. de A.), v/43.

TEMA III.B DEL PROGRAMA.

NUEVOS MATERIALES Y SU EMPLEO EN LA UTILIZACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR

INFORME GENERAL: Relator, J. A. Duffie, GR/12(S).

Solar focusing collectors of plastics: F. Daniels y R. R. Breihan (EE.UU. de A.), S/104.

Plastics films for solar energy applications: F. E. Edlin y D. E. Willauer (EE.UU. de A.), S/33.

Spectral and directional thermal radiation characteristics of selective surfaces for solar collectors: D. K. Edwards, J. T. Gier, K. E. Nelson y R. D. Roddick (EE.UU. de A.), S/43.

A new collector of solar radiant energy — Theory and experimental verifications: G. F. Francia (Italia), S/71.

The spectrum of materials available for the utilization and control of solar energy: R. E. Gaumer (EE.UU. de A.), S/42.

Step lenses and step prisms for utilization of solar energy: I. Oshida (Japón), S/22.

Special glasses and mounting for the utilization of solar energy: I. Peyches (Francia), S/91.

Further studies on selective black coatings: H. Tabor, J. Harris, H. Weinberger y B. Doron (Israel), S/46.

Studies on selective surfaces for air-conditioning dwellings: F. Trombe, M. Foëx y M. Le-Phat-Vinh (Francia), S/6.

Use of certain aluminium alloys in the utilization of solar energy: P. Vachet y J. Mercier (Francia), S/86.

TEMA III.C DEL PROGRAMA.

UTILIZACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR CON FINES DE CALEFACCIÓN

III.C.1. Calentamiento de agua

INFORME GENERAL: Relator, I. Oshida, GR/13(S).

Ten years' experience with solar water heaters in the UAR: M. S. M. Abou-Hussein (RAU), S/50.

Solar water heaters: S. Andrassy (EE.UU. de A.), S/96.

The use of solar energy for heating water: E. A. Farber (EE.UU. de A.), S/1.

Use of solar energy for water heating: J. Geoffroy (Francia), S/58.

Solar water heaters: K. N. Mathur y M. L. Khanna (India), S/102.

Water heating by solar energy: R. N. Morse (Australia), S/38.

The Solar Switch: An automatic device for economizing auxiliary heating of solar water heaters: N. Robinson y E. Neeman (Israel), S/31.

Study of solar water heating in Algeria: J. Savornin (Francia), S/72.

Solar water heaters: R. Sobotka (Israel), S/26.

Recent development of solar water heaters in Japan: I. Tanishita (Japón), S/68.

A standard test for solar water heaters: A. Whillier y S. J. Richards (Sudáfrica), S/97.

III.C.2. Calefacción de edificios

INFORME GENERAL: Relator, G.O.G. Löf, GR/14(S).

An electronic-mechanical analogue for the design of solar heating plant: R. F. Benseman (Nueva Zelanda), S/19.

The performance of an experimental system using solar energy for heating and night radiation for cooling a building: R. W. Bliss, Jr. (EE.UU. de A.), S/30.

The use of solar energy for space heating — MIT Solar House IV: C. D. Engebretson (EE.UU. de A.), S/67.

Installations for solar space heating in Givrin: N. Fukuo, T. Kozuka, S. Iida, I. Fujishiro, T. Irisawa, M. Yoshida y H. Mii (Japón), S/112.

Design and performance of domestic heating system employing solar heated air — The Colorado Solar House: G. O. G. Löf, M. M. El-Wakil y J. P. Chiou (EE.UU. de A.), S/114.

Design criteria of solar heated houses: A. Olgyay (EE.UU. de A.), S/93.

Stazioni Astrofisica Svedese — A Swedish solar-heated house at Capri: G. V. Pleijel y B. I. Lindström (Suecia), S/49.

Solar space heating, water heating, cooling in the Thomason home: H. E. Thomason (EE.UU. de A.), S/3.

Report on two and a half years' experimental living in Yanagimachi Solar House II: M. Yanagimachi (Japón), S/94.

III.C.3. Secamiento por energía solar

INFORME GENERAL: Relator, G. O. G. Löf, GR/15(S).

Drying crops with solar heated air: F. H. Buelow (EE.UU. de A.), S/17.

Solar energy utilization for crop drying: C. P. Davis, Jr. y R. I. Lipper (EE.UU. de A.), S/53.

Solar drying of oil shale: A. T. Talwalkar, J. A. Duffie, y G. O. G. Löf (EE.UU. de A.), S/83.

The role of solar energy in the drying of vine fruit: B. W. Wilson (Australia), S/4.

III.C.4. La cocina a base de energía solar

INFORME GENERAL: Relator, G. O. G. Löf, GR/16(S).

Temperature decay curves in the box-type solar cooker: M. S. M. Abou-Hussein (RAU), S/75.

Laboratory and field studies of plastic reflector solar cookers: J. A. Duffie, G. O. G. Löf y B. Beck (EE.UU. de A.), S/87.

Design and performance of folding umbrella-type solar cooker: G. O. G. Löf y D. A. Fester (EE.UU. de A.), S/100.

Report on tests conducted using the Telkes solar oven and the Wisconsin solar stove over the period July to September 1959: Food and Agriculture Organization of the United Nations, S/116.

A cylindro-parabolic solar cooker: A. S. Prata (Portugal), S/110.

Cheap but practical solar kitchens: H. Stam (Países Bajos), S/24.

Practical solar cooking ovens: M. Telkes y S. Andrassy (EE.UU. de A.), S/101.

III.C.5. Almacenamiento de calor

INFORME GENERAL: Relator, K. N. Mathur, GR/17(S).

Some physical chemical aspects of heat storage: M. Goldstein (EE.UU. de A.), S/7.

Solar buildings in temperate and tropical climates: E. Speyer (EE.UU. de A.), S/8.

TEMA III.D DEL PROGRAMA.

UTILIZACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR CON FINES DE ENFRIAMIENTO

INFORME GENERAL: Relator, K. Tabor, GR/18(S).

Cooling with solar energy: R. Chung y J. A. Duffie (EE.UU. de A.), S/82.

III.D.1. Preservación de alimentos por refrigeración

Absorption cooling unit with fixed conoidal reflector: T. Oniga (Brasil), S/70.

Economic balance sheet of ice manufacture with an absorption machine utilizing the sun as the heat source: F. Trombe y M. Foëx (Francia), S/109/Rev.1.

III.D.2. Enfriamiento de edificios y deshumidificación

The Allenkirch solar-cooled house: S. Adler, G. Levite y H. Tabor (Israel), S/88.

Engineering and economic study of the use of solar energy especially for space cooling in India and Pakistan: N. G. Ashar (India) y A. R. Reti (EE.UU. de A.), S/37.

Study of a Saharan solar house: E. Crausse y H. Gachon (Francia), S/76.

Prospects for solar air-conditioning in Australia: N.B. Sheridan (Australia), S/39.

Utilization of solar energy for simultaneous distillation of brackish water and air-conditioning of hot-houses in arid regions: F. Trombe y M. Foëx (Francia), S/64/Rev.1.

Principles of air-conditioning in countries with a clear sky: F. Trombe y Ch. Henry La Blanchetais (Francia), S/111.

TEMA III.E DEL PROGRAMA.

UTILIZACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR PARA PRODUCIR AGUA DULCE

INFORME GENERAL: Relator, C. Gomella, GR/19(S).

Solar distillers: V. A. Baum (URSS), S/119.

Algunas experiencias de destilación solar del agua en pequeña escala: L. Fontán y J. A. Baraoain (España), S/73.

Possibilities of increasing the dimensions of solar stills: C. Gomella (Francia), S/107.

Forced convection, multiple effect solar still for desalting sea and brackish waters: W. N. Grune, R. A. Collins y T. L. Thompson (EE.UU. de A.), S/14.

Demineralization of saline water by solar radiation in the United Arab Republic: M. M. Hafez y M. K. Elnesr (RAU), S/63.

Evaporadores y destiladores solares en Chile: J. G. Hirschmann (Chile), S/23.

Solar distillation research at the University of California: E. D. Howe (EE.UU. de A.), S/29.

A large scale, low cost, solar heat collector and its application to sea water conversion: R. L. Hummel (EE.UU. de A.), S/28.

Experiments on demineralization of water in North India: M. L. Khanna y K. N. Mathur (India), S/115.

Silting and incrustation in solar distillers: G. Lejeune (Francia), S/89.

Application of theoretical principles in improving the performance of basin-type solar distillers: G. O. G. Löf (EE.UU. de A.), S/77.

Present status and future of the solar stills: G. Nebbia (Italia), S/113.

Developments in solar distillation — United States Department of the Interior: J. J. Strobel (EE.UU. de A.), S/85.

TEMA III.F DEL PROGRAMA.

UTILIZACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR PARA OPERACIONES DE ALTA TEMPERATURA (HORNOS SOLARES)

INFORME GENERAL: Relator, F. Trombe, GR/20(S).

High vacuum treatment in the solar furnace-experimental set-up, preparation and study of new rare-earth compounds: J. C. Achard (Francia), S/108.

Image quality and use of the United States Army Quartermaster solar furnace: E. S. Cotton, W. P. Lynch, W. Zagieboylo y J. M. Davies (EE.UU. de A.), S/79.

Temperature measurements in the solar furnaces: M. Foëx (Francia), S/66.

Industrial applications — the challenge to solar furnace research: P. E. Glaser (EE.UU. de A.), S/16.

New Techniques and possibilities in solar furnaces: T. S. Laszlo (EE.UU. de A.), S/5.

Study of the energy concentrations yielded by parabolic mirrors of very large surface: A. Le-Phat-Vinh (Francia), S/48.

Chemical syntheses in the solar furnace: R. J. Marcus y H. C. Wohlers (EE.UU. de A.), S/25/Rev.1.

Applied research in a solar furnace: T. Noguchi, M. Mizuno, N. Nakayama y H. Hayashi (Japón), S/57.

Construction of a large solar furnace: R. Sakurai, K. Shishido, O. Kamada y K. Inagahi (Japón), S/21.

Treatment conditions and physical measurements in solar furnaces: F. Trombe, M. Foëx y Ch. Henry La Blanchetais (Francia), S/35.

Purification of substances by heating in a solar furnace: F. Trombe y M. Foëx (Francia), S/52.

The practical applications of solar furnaces today and the economic possibilities of their development: F. Trombe y M. Foëx (Francia), S/81.

Production of boron carbide and heat treatment of minerals by solar furnaces: G. E. Vuillard (Francia), S/36.

Anexo 5

INDICE, POR SIGNATURAS, DE LOS TRABAJOS PRESENTADOS EN LA CONFERENCIA

(E/CONF.35 /—)

Idioma

Tema del
programa

Relator

INFORMES GENERALES DE LOS RELATORES

GR/1(GEN)	Francés e inglés	I	de Breuvery, E. S.
GR/2(GEN)	Inglés y francés	II.D.2	Daniels, F.
GR/3(G)	Español, inglés y francés	II.A.1	Elizondo, J. R.
GR/4(G)	Inglés y francés	II.A.2	Smith, J. H.
GR/5(G)	Inglés y francés	II.A.3	Bodvarsson, G.
GR/6(W)	Inglés y francés	II.B.1	Golding, E. W.
GR/7(W)	Francés e inglés	II.B.2	Vadot, L.
GR/8(W)	Inglés y francés	II.B.3	Hütter, U.
GR/9(S)	Inglés y francés	II.C.1 a)	Tabor, H.
GR/10(S)/Rev.1	Ruso, inglés y francés	II.C.1 b)	Baum, V.A.
GR/11(S)	Español, inglés y francés	III.A	Blanco, P.
GR/12(S)	Inglés y francés	III.B	Duffie, J. A.
GR/13(S)	Inglés y francés	III.C.1	Oshida, I.
GR/14(S)	Inglés y francés	III.C.2	Löf, G. O. G.
GR/15(S)	Inglés y francés	III.C.3	Löf, G. O. G.
GR/16(S)	Inglés y francés	III.C.4	Löf, G. O. G.
GR/17(S)	Inglés y francés	III.C.5	Mathur, K. N.
GR/18(S)	Inglés y francés	III.D	Tabor, H.
GR/19(S)	Francés e inglés	III.E	Gomella, C.
GR/20(S)	Francés e inglés	III.F	Trombe, F.

TRABAJOS INDIVIDUALES *

GENERAL

GEN/1	Francés e inglés	I	Angelini, A.M.
GEN/2	Inglés	II.D.2	Marcus, R. J. y Wohlers, H. C.
GEN/3	Inglés	II.D.2	Evans, G. E.
GEN/4	Inglés y francés	I	Hartley, Sir Harold
GEN/5	Inglés	II.D.1	Golding, E. W.
GEN/6	Inglés	II.D.2	McCully, C. R.
GEN/7	Inglés y francés	I	Mueller, H. F.
GEN/8	Inglés y francés	I	Kapur, J. C.
GEN/9	Inglés	II.D.2	Bacon, F. T.
GEN/10	Inglés y francés	I	Netschert, B. C. y Löf, G. O. G.
GEN/11	Inglés y francés	I	Abdel-Rahman, I. H.
GEN/12	Francés e inglés	I	Ailleret, P.
GEN/13	Inglés	II.D.2	Melzer, H.
GEN/14	Inglés	II.D.2	Werner, R. C. y Ciarlariello, T. A.
GEN/15	Inglés y francés	I	Thacker, M. S.

ENERGÍA GEOTÉRMICA

(E/CONF.35 /—)

Idioma

Tema del
programa

Autor

G/1.	Inglés	II.A.1	Saito, M.
G/2.	Inglés	II.A.1	White, D. E.
G/3.	Inglés	II.A.1	McNitt, J. R.
G/4.	Inglés	II.A.2 b)	Armstead, H.C.H.
G/5.	Inglés	II.A.1	Rawson, D. E. y Bennet, W. P.
G/6.	Inglés	II.A.1	Bodvarsson, G.
G/7.	Inglés	II.A.3 a)	Mizutani, Y.
G/8.	Inglés	II.A.2 b)	Bruce, A.W.
G/9.	Inglés	II.A.2 b)	Einarsson, S. S.
G/10	Inglés	II.A.1	Christmann, G.
G/11	Inglés	II.A.1	Durr, F.
G/12	Inglés	II.A.1	Fooks, A.C.L.
G/13	Inglés	II.A.2 a)	Bangma, P.

* Salvo las excepciones que abajo se indican, cada trabajo individual va acompañado de un resumen bilingüe (en inglés y francés) que lleva la misma signatura, seguida de la palabra "summary" (resumen). Dichas excepciones las constituyen los trabajos relativos al tema I y los siguientes : W/34, S/76, S/80, S/89, S/112, S/116, S/118 y S/119.

(E/CONF.35 /—)

Idioma

Tema del
programa

Autor

ENERGÍA GEOTÉRMICA (continuación)

G/14	Inglés	II.A.2 a)	Craig, S. B.
G/15	Inglés	II.A.2 a)	Innes, I. A.
G/16	Inglés	II.A.2 a)	Fooks, A. C. L.
G/17	Inglés	II.A.1	Dench, N. D.
G/18	Inglés	II.A.2 a)	Dench, N. D.
G/19/Rev.1	Inglés	II.A.2 a)	Hunt, A. M.
G/20	Inglés	II.A.1	Durr, F.
G/21	Inglés	II.A.2 a)	Woods, D. I.
G/22	Inglés	II.A.2 a)	Nijima, R.
G/23	Inglés	II.A.1	Sato, K.
G/24	Inglés	II.A.1	Bodvarsson, G. y Palmason, G.
G/25	Francés	II.A.1	Breusse, J. J.
G/26	Francés	II.A.1	Battini, F. y Menut, P.
G/27	Inglés	II.A.3 a)	Lindal, B.
G/28	Inglés	II.A.1	Healy, J.
G/29	Inglés	II.A.1	Ritchie, J. A.
G/30	Inglés	II.A.1	James, R.
G/31	Inglés	II.A.1	Hulston, J. R.
G/32	Inglés	II.A.3 a)	Lindal, B.
G/33	Inglés	II.A.1	Studt, F. E.
G/34	Inglés	II.A.1	Grindley, G. W.
G/35	Inglés	II.A.1	Wilson, S. H.
G/36	Inglés	II.A.2 a)	Karlsson, T.
G/37	Inglés	II.A.3 a)	Bodvarsson, G. y Zoëga, J.
G/38	Ruso/inglés	II.A.1	Piip, B. I., Ivanov, V. V. y Averiev, V. V.
G/39	Francés	II.A.3 b)	Lenzi, D.
G/40	Inglés	II.A.2 a)	Smith, J. H.
G/41	Inglés	II.A.2 b)	Hansen, A.
G/42	Inglés	II.A.1	Ellis, A. J.
G/43	Inglés	II.A.2 a)	Bolton, R. S.
G/44	Inglés	II.A.2 a)	Smith, J. H.
G/45	Inglés	II.A.3 a)	Sigurdsson, H.
G/46	Inglés	II.A.1	Mahon, W.A.J.
G/47	Inglés	II.A.2 a)	Foster, P. K., Marschall, T. y Tombs, A.
G/48	Inglés	II.A.1	Decius, L. C.
G/49	Inglés	II.A.2 a)	Fisher, W. M.
G/50	Inglés	II.A.2 b)	Zancani, C. F.
G/51	Inglés	II.A.2 a)	English, E. F.
G/52	Inglés	II.A.3 a)	Kerr, R. N., Bangma, P. Cooke, W. L., Furness, F. G. y Vamos, G.
G/53	Inglés	II.A.1	Banwell, C. J.
G/54	Inglés	II.A.1	Thompson, G. E. K., Banwell, C. J., Dawson, G. B. y Dickinson, D. J.
G/55	Inglés	II.A.1	Doyle, D. y Studt, F. E.
G/56	Inglés	II.A.3 b)	Kennedy, A. M.
G/57	Inglés	II.A.1	Harada, H. y Mori, T.
G/58	Francés	II.A.1	Marinelli, G.
G/59	Inglés	II.A.3 a)	Lindal, B.
G/60	Inglés	II.A.2 b)	Saporiti, A.
G/61/Rev.1	Francés	II.A.1	Burgassi, R., Battini, F. y Mouton, J.
G/62	Inglés	II.A.2 b)	Chierici, A.
G/63	Francés	II.A.3 b)	Garbato, C.
G/64	Inglés	II.A.2 b)	Saporiti, A.
G/65	Francés e inglés	II.A.1	Burgassi, R.
G/66	Francés e inglés	II.A.2 a)	Minucci, G.
G/67	Inglés	II.A.1	Facca, G. y Tonani, F.
G/68	Francés e inglés	II.A.2 b)	Di Mario, P.
G/69	Inglés	II.A.1	Marchesini, E.
G/70	Inglés	II.A.2 a)	Contini, R. y Cigni, U.
G/71	Francés e inglés	II.A.2 a)	Contini, R.
G/72	Inglés	II.A.2 b)	Villa, F.
G/73	Francés	II.A.1	Nencetti, R.
G/74	Ruso/inglés	II.A.1	Averiev, V. V.
G/75	Francés	II.A.1	Nencetti, R.
G/76	Francés	II.A.1	Nencetti, R.
G/77	Inglés	II.A.1	de Anda, L. F., Septién, J. I. y Elizondo, J. R.

(E/CONF.35 /—)

*Idioma**Tema del
programa**Autor*

ENERGÍA EÓLICA

W/1	Inglés	II.B.3 b)	Arnfred, J. T.
W/2	Inglés	II.B.1	Sanuki, M.
W/3	Inglés	II.B.2 b)	Clausnizer, G.
W/4	Inglés	II.B.1	Soliman, K. H.
W/5	Inglés	II.B.2 a)	Moriya, T. y Tomosawa, Y.
W/6	Inglés	II.B.3 a)	Frenkiel, J. H.
W/7	Español/inglés	II.B.1	Ballester, M.
W/8	Francés	II.B.3 c)	Delafond, F. H.
W/9	Francés	II.B.2 b)	Delafond, F. H.
W/10	Español/inglés	II.B.1	Cambilargiu, E.
W/11	Inglés	II.B.1	Organización Meteorológica Mundial
W/12	Inglés	II.B.1	Tagg, J. R.
W/13	Francés	II.B.1	Perlat, A.
W/14	Inglés	II.B.1	Jensen, M.
W/15	Inglés	II.B.2. b)	Askegaard, V.
W/16	Español/inglés	II.B.1	Barasoain, J. A. y Fontán, L.
W/17	Inglés	II.B.2. a)	Juul, J.
W/18	Inglés	II.B.3 a)	Walker, J. G.
W/19	Inglés	II.B.1	Ramakrishnan, K. P. y Venkiteshwaran, S. P.
W/20/Rev.1	Inglés	II.B.3. c)	Juul, J.
W/21	Inglés	II.B.3 c)	Juul, J.
W/22	Inglés	II.B.3 a)	Jacobs, M. L.
W/23	Inglés	II.B.3 b)	Nilakantan, P., Ramakrishnan, K. P. y Venkiteshwaran, S. P.
W/24	Inglés	II.B.2 b)	Morrison, J. G.
W/25	Inglés	II.B.3 a)	Venkiteshwaran, S. P.
W/26	Inglés	II.B.1	Petterssen, S.
W/27	Inglés	II.B.2. a)	Villinger, F.
W/28	Inglés	II.B.1	Lange, K. O.
W/29	Inglés	II.B.3 a)	Walker, J. G.
W/30	Inglés	II.B.2. a)	Sterne, L. H. G. y Fragoianis, G.
W/31	Inglés	II.B.2 a)	Hütter, U.
W/32	Inglés	II.B.2 a)	Havinga, A.
W/33	Inglés	II.B.1	Frenkiel, J. H.
W/34	Inglés	II.B.2 a)	Armbrust, S.
W/35	Francés	II.B.1	Argand, A. G.
W/36	Inglés	II.B.2 a)	Ledacs-Kiss, A.
W/37	Francés	II.B.2 a)	Santorini, P. P.
W/38	Inglés	II.B.3 a)	Stam, H., Tabak, H. y van Vlaardingen C. J.
W/39	Español/inglés	II.B.2 a)	Cambilargiu, E.
W/40	Inglés	II.B.3 a)	Stam, H.

ENERGÍA SOLAR

S/1	Inglés	III.C.1	Farber, E. A.
S/2	Inglés	III.A.	Sekihara, K.
S/3	Inglés	III.C.2	Thomason, H. E.
S/4	Inglés	III.C.3	Wilson, B. W.
S/5	Inglés	III.F.	Laszlo, T. S.
S/6	Francés e inglés	III.B.	Trombe, F., Foëx, M. y Le-Phat-Vinh, M.
S/7	Inglés	III.C.5	Goldstein, M.
S/8	Inglés	III.C.5	Speyer, E.
S/9	Inglés	III.A.	Heywood, H.
S/10	Inglés	II.C.1. b) i)	Kobayashi, M.
S/11	Inglés	II.C.1 b) ii)	Kobayashi, M.
S/12	Inglés	II.C.1 b) i)	Katz, K.
S/13	Inglés	III.A.	Black, J. N.
S/14	Inglés	III.E.	Grune, W. N., Collins, R. A. y Thompson, T. L.
S/15	Inglés	II.C.1 a)	Hummel, R. L.
S/16	Inglés	III.F.	Glaser, P. E.
S/17	Inglés	III.C.3	Buelow, F. H.
S/18	Inglés	III.A.	Truhlar, E. J., Latimer, J. R., Mateer, C. L. y Godson, W. L.

(E/CONF.35 /—)	<i>Idioma</i>	<i>Tema del programa</i>	<i>Autor</i>
ENERGÍA SOLAR (continuación)			
S/19	Inglés	III.C.2	Benseman, R. F.
S/20	Inglés	III.A.	Allcut, E. A. y Hooper, F. C.
S/21	Inglés	III.F.	Sakurai, R., Shishido, K., Kamada, O. y Inagaki, K.
S/22	Inglés	III.B.	Oshida, I.
S/23	Español/francés	III.E.	Hirschmann, J. G.
S/24	Inglés	III.C.4	Stam, H.
S/25/Rev.1	Inglés	III.F.	Marcus, R. J. y Wohlers, H. C.
S/26	Inglés	III.C.1	Sobotka, R.
S/27	Inglés	II.C.1 a)	Macauley, B. T.
S/28	Inglés	III.E.	Hummel, R. L.
S/29	Inglés	III.E.	Howe, E. D.
S/30	Inglés	III.C.2	Bliss Jr., R. W.
S/31	Inglés	III.C.1	Robinson, N. y Neeman, E.
S/32	Inglés	III.A.	Sapsford, C. M.
S/33	Inglés	III.B.	Edlin, F. E. y Willauer, D. E.
S/34	Inglés	III.A.	Yellott, J. I. y Kokoropoulos, P.
S/35	Francés	III.F.	Trombe, F., Foëx, M. y Henry La Blanchetais, Ch.
S/36	Francés	III.F.	Vuillard, G. E.
S/37	Inglés	III.D.2	Ashar, N. G. y Reti, A. R.
S/38	Inglés	III.C.1	Morse, R. N.
S/39	Inglés	III.D.2	Sheridan, N. B.
S/40	Inglés	II.C.1 b) ii)	Pearson, G. L.
S/41/Rev. 1.	Francés	III.A.	Perrot, M. y Touchais, M.
S/42	Inglés	III.B.	Gaumer, R. E.
S/43	Inglés	III.B.	Edwards, D. K., Gier, J. T., Nelson, K. E. y Roddick, R. D.
S/44	Inglés	II.C.1 b) ii)	Wolf, M.
S/45	Francés e inglés	II.C.1 a)	Touchais, M.
S/46	Inglés	III.B.	Tabor, H. Harris, J., Weinberger, H. y Doron, B.
S/47	Inglés	II.C.1 a)	Tabor, H.
S/48	Francés	III.F.	Le-Phat-Vinh, A.
S/49	Inglés	III.C.2	Pleijel, G. V. y Lindström, B. I.
S/50	Inglés	III.C.1	Abou-Hussein, M. S. M.
S/51 (no publicado)			
S/52	Francés	III.F.	Trombe, F. y Foëx, M.
S/53	Inglés	III.C.3	Davis, Jr., C. P. y Lipper, R. I.
S/54	Inglés	II.C.1 a)	Tabor, H. y Bronicki, J. L.
S/55	Francés e inglés	II.C.1 b) i)	Michel, R. G.
S/56	Inglés	II.C.1 b) ii)	Ravich, L. E.
S/57	Inglés	III.F.	Noguchi, T., Mizuno, M. Nakayama, N. y Hayashi, H.
S/58	Francés e inglés	III.C.1	Geoffroy, J.
S/59	Francés	III.A.	Dogniaux, R.
S/60	Inglés	III.A.	Venkateshwaran, S. P.
S/61	Inglés	III.A.	Gräfe, K.
S/62	Inglés	III.A.	Elnesr, M. K. y Khalil, A. M.
S/63	Inglés	III.E.	Hafez, M. M. y Elnesr, M. K.
S/64/Rev.1	Francés e inglés	III.D.2	Trombe, F. y Foëx, M.
S/65	Inglés	II.C.1 b) ii)	Prince, M. B.
S/66	Francés	III.F.	Foëx, M.
S/67	Inglés	III.C.2	Engbretson, C. D.
S/68	Inglés	III.C.1	Tanishita, I.
S/69	Francés	III.A.	Peyturaux, R.
S/70	Francés e inglés	III.D.1	Oniga, T.
S/71	Francés e inglés	III.B.	Francia, G.
S/72	Francés e inglés	III.C.1	Savornin, J.
S/73	Español/francés	III.E.	Fontan, L. y Barasoain, J. A.
S/74	Inglés	III.A.	Flach, E. F. y Mörfikofer, W.
S/75	Inglés	III.C.4	Abou-Hussein, M. S. M.
S/76	Francés e inglés	III.D.2	Crausse, E. y Gachon, H.
S/77	Inglés	III.E.	Löf, G. O. G.
S/78	Inglés	II.C.1 b) i)	Hatsopoulos, G. N. y Brosens, P. J.
S/79	Inglés	III.F.	Cotton, E. S., Lynch, W. P., Zagieboylo, W. y Davies, J. M.

(E/CONF.35 /—)

Idioma

*Tema del
programa*

Autor

ENERGÍA SOLAR (continuación)

S/80	Francés	III.A	Perrin de Brichambaut, C.
S/81	Francés	III.F	Trombe, F. y Foëx, M.
S/82	Inglés	III.D	Chung, R. y Duffie, J. A.
S/83	Inglés	III.C.3	Talwalkar, A. T., Duffie, J. A. y Löff, G. O. G.
S/84	Francés e inglés	II.C.1 b) i)	Perrot, M. y Touchais, M.
S/85	Inglés	III.E	Strobel, J. J.
S/86	Francés e inglés	III.B	Vachet, P. y Mercier, J.
S/87	Inglés	III.C.4	Duffie, J. A., Löff, G. O. G. y Beck, B.
S/88	Inglés	III.D.2	Adler, S., Levite, G. y Tabor, H.
S/89	Francés	III.E	Lejeune, G.
S/90	Inglés	II.C.1 b) i)	Wilson, V. C.
S/91	Francés e inglés	III.B	Peyches, I.
S/92	Inglés	III.A	Schöffner, P., Kuhn, P. M. y Sapsford, C. M.
S/93	Inglés	III.C.2	Olgyay, A.
S/94	Inglés	III.C.2	Yanagimachi, M.
S/95	Francés	III.A	Gondet, M.
S/96	Inglés	III.C.1	Andrassy, S.
S/97	Inglés	III.C.1	Whillier, A. y Richards, S. J.
S/98	Inglés	III.A	Page, J. K.
S/99	Inglés	II.C.1 a)	D'Amelio, L.
S/100	Inglés	III.C.4	Löff, G. O. G. y Fester, D. A.
S/101	Inglés	III.C.4	Telkes, M. y Andrassy, S.
S/102	Inglés	III.C.1	Mathur, K. N. y Khanna, M. L.
S/103	Inglés	II.C.b) i)	Breihan, R. R., Daniels, F., Duffie, J. A. y Löff, G. O. G.
S/104	Inglés	III.B	Daniels, F. y Breihan, R. R.
S/105	Inglés	III.A	Ramdas, L. A.
S/106	Inglés	II.C. b) ii)	Rappaport, P. y Moss, H. I.
S/107	Francés	III.E	Gomella, C.
S/108	Francés	III.F	Achard, J. C.
S/109/Rev.1	Francés e inglés	III.D.1	Trombe, F. y Foëx, M.
S/110	Francés e inglés	III.C.4	Prata, A. S.
S/111	Francés e inglés	III.D.2	Trombe, F. y Henry La Blanchetais, Ch.
S/112	Inglés	III.C.2	Fukuo, N., Kozuka, T., Iida, S., Fujishiro, I., Irisawa, T., Yoshida, M. y Mii, H.
S/113	Inglés	III.E	Nebbia, G.
S/114	Inglés	III.C.2	Löff, G. O. G., El Wakil, M. M. y Chiou, J. P.
S/115	Inglés	III.E	Khanna, M. L. y Mathur, K. N.
S/116	Inglés	III.C.4	Organización para la Agricultura y la Alimentación — Dirección de Nutri- ción
S/117	Inglés	III.A	Drummond, A. J.
S/118	Inglés	II.C.1. b)	Baum, V. A., Borovikova, R. P. y Okhotin, A. S.
S/119	Inglés	III.E	Baum, V. A.

DONDE SE VENDEN LAS PUBLICACIONES DE LAS NACIONES UNIDAS

AFRICA

CAMERUN: LIBRAIRIE DU PEUPLE AFRICAINE
La Gérante, B. P. 1197, Yaoundé.

ETIOPIA: INTERNATIONAL PRESS AGENCY
P. O. Box 120, Addis-Abeba.

GHANA: UNIVERSITY BOOKSHOP
University College of Ghana, Legon, Accra.

MARRUECOS: CENTRE DE DIFFUSION
DOCUMENTAIRE DU B.E.P.I.
8, rue Michaux-Bellaire, Rabat.

REPUBLICA ARABE UNIDA: LIBRAIRIE
"LA RENAISSANCE D'EGYPTE"
9 Sh. Adly Pasha, Le Caire.

SUDAFRICA: VAN SCHAIK'S BOOK
STORE (PTY.), LTD.

AMERICA DEL NORTE

CANADA: THE QUEEN'S PRINTER
Ottawa, Ontario.

ESTADOS UNIDOS DE AMERICA: SALES SECTION,
UNITED NATIONS, New York.

AMERICA LATINA

ARGENTINA: EDITORIAL SUDAMERICANA, S. A.
Alsina 500, Buenos Aires.

BOLIVIA: LIBRERIA SELECCIONES
Casilla 972, La Paz.

BRASIL: LIVRARIA AGIR
Rua México 98-B, Caixa Postal 3291,
Rio de Janeiro.

CHILE:
EDITORIAL DEL PACIFICO
Ahumada 57, Santiago.

LIBRERIA IVENS
Casilla 205, Santiago.

COLOMBIA: LIBRERIA BUCHHOLZ
Av. Jiménez de Quesada 8-40, Bogotá.

COSTA RICA: IMPRENTA Y LIBRERIA TREJOS
Apartado 1313, San José.

CUBA: LA CASA BELGA
O'Reilly 455, La Habana.

ECUADOR: LIBRERIA CIENTIFICA
Casilla 362, Guayaquil.

EL SALVADOR: MANUEL NAVAS Y CIA.
1a. Avenida Sur 37, San Salvador.

GUATEMALA: SOCIEDAD ECONOMICA-
FINANCIERA
6a Av. 14-33, Ciudad de Guatemala.

HAITI: LIBRAIRIE "À LA CARAVELLE"
Port-au-Prince.

HONDURAS: LIBRERIA PANAMERICANA
Tegucigalpa.

MEXICO: EDITORIAL HERMES, S. A.
Ignacio Mariscal 41, México, D. F.

PANAMA: JOSE MENENDEZ
Agencia Internacional de Publicaciones,
Apartado 2052, Av. 8A, Sur 21-58, Panamá.

PARAGUAY: AGENCIA DE LIBRERIAS
DE SALVADOR NIZZA
Calle Pte. Franco No. 39-43, Asunción.

PERU: LIBRERIA INTERNACIONAL
DEL PERU, S. A.
Casilla 1417, Lima.

REPUBLICA DOMINICANA: LIBRERIA
DOMINICANA
Mercedes 49, Santo Domingo.

URUGUAY: REPRESENTACION DE EDITORIALES.
PROF. H. D'ELIA
Plaza Cagancha 1342, 1° piso, Montevideo.

VENEZUELA: LIBRERIA DEL ESTE
Av. Miranda, No. 52, Edf. Galipán, Caracas.

ASIA

BIRMANIA: CURATOR, GOVT. BOOK DEPOT
Rangoon.

CAMBOYA: ENTREPRISE KHMÈRE
DE LIBRAIRIE
Imprimerie & Papeterie, S. à R. L., Phnom-Penh.

CEILAN: LAKE HOUSE BOOKSHOP
Assoc. Newspapers of Ceylon, P. O. Box 244,
Colombo.

CHINA:
THE WORLD BOOK COMPANY, LTD.
99 Chung King Road, 1st Section, Taipei, Taiwan.
THE COMMERCIAL PRESS, LTD.
211 Honan Road, Shanghai.

COREA (REPUBLICA DE): EUL-YOO PUBLISHING
CO., LTD.
5, 2-KA, Chongno, Seoul.

FILIPINAS: ALEMAR'S BOOK STORE
769 Rizal Avenue, Manila.

HONG KONG: THE SWINDON BOOK COMPANY
25 Nathan Road, Kowloon.

INDIA:
ORIENT LONGMANS
Bombay, Calcutta, Hyderabad, Madras
y New Delhi.

OXFORD BOOK & STATIONERY COMPANY
Calcutta y New Delhi.

P. VARADACHARY & COMPANY
Madras.

INDONESIA: PEMBANGUNAN, LTD.
Gunung Sahari 84, Djakarta.

JAPON: MARUZEN COMPANY, LTD.
6 Tori-Nichome, Nihonbashi, Tokyo.

PAKISTAN:
THE PAKISTAN CO-OPERATIVE BOOK SOCIETY
Dacca, East Pakistan.
PUBLISHERS UNITED, LTD.
Lahore.
THOMAS & THOMAS
Karachi.

SINGAPUR: THE CITY BOOK STORE, LTD.
Collyer Quay.

TAILANDIA: PRAMUAN MIT, LTD.
55 Chakrawat Road, Wat Tuk, Bangkok.

VIET-NAM (REPUBLICA DE): LIBRAIRIE-
PAPETERIE XUÂN THU
185, rue Tu-do, B. P. 283, Saigon.

EUROPA

ALEMANIA (REPUBLICA FEDERAL DE):
R. EISENSCHMIDT
Schwanthaler Str. 59, Frankfurt/Main.

ELWERT UND MEURER
Hauptstrasse 101, Berlin-Schöneberg.

ALEXANDER HORN
Spiegelgasse 9, Wiesbaden.

W. E. SAARBACH
Gertrudenstrasse 30, Köln (1).

AUSTRIA:
GEROLD & COMPANY
Graben 31, Wien, 1.
B. WÜLLERSTORFF
Markus Sittikusstrasse 10, Salzburg.

BELGICA: AGENCE ET MESSAGERIES
DE LA PRESSE, S. A.
14-22, rue du Persil, Bruxelles.

CHECOSLOVAQUIA: ČESKOSLOVENSKÝ
SPISOVATEL
Národní Třída 9, Praha 1.

DINAMARCA: EJNAR MUNKSGAARD, LTD.
Nørregade 6, København, K.

ESPAÑA:

LIBRERIA BOSCH
11 Ronda Universidad, Barcelona.
LIBRERIA MUNDI-PRENSA
Castelló 37, Madrid.

FINLANDIA: AKATEEMINEN KIRJAKAUPPA
2 Keskuskatu, Helsinki.

FRANCIA: ÉDITIONS A. PÉDONE
13, rue Soufflot, Paris (V^e).

GRECIA: LIBRAIRIE KAUFFMANN
28, rue du Stade, Athènes.

IRLANDA: STATIONERY OFFICE
Dublin.

ISLANDIA: BÓKAVERZLUN SIGFÚSAR
EYMUNDSSONAR H. F.
Austurstraeti 18, Reykjavík.

ITALIA: LIBRERIA COMMISSIONARIA
SANSONI

Via Gino Capponi 26, Firenze,
y via D. A. Azuni 15/A, Roma.

LUXEMBURGO: LIBRAIRIE J. TRAUSSCH-
SCHUMMER
Place du Théâtre, Luxembourg.

NORUEGA: JOHAN GRUNDT TANUM
Karl Johansgate, 41, Oslo.

PAISES BAJOS: N. V. MARTINUS NIJHOFF
Lange Voorhout 9, 's-Gravenhage.

PORTUGAL: LIVRARIA RODRIGUES & CIA.
186 rua Aurea, Lisboa.

REINO UNIDO: H. M. STATIONERY OFFICE
P. O. Box 569, London, S.E.1
(y HMSO en Belfast, Birmingham, Bristol,
Cardiff, Edinburgh, Manchester).

SUECIA: C. E. FRITZES KUNGL. HÖRBOK-
HANDEL A-B
Fredsgatan 2, Stockholm.

SUIZA:
LIBRAIRIE PAYOT, S. A.
Lausanne, Genève.

HANS RAUNHARDT
Kirchgasse 17, Zürich 1.

TURQUIA: LIBRAIRIE HACHETTE
469 Istiklal Caddesi, Beyoğlu, Istanbul

**UNION DE REPUBLICAS SOCIALISTAS
SOVIETICAS:**

MEZHODUNARODNAYA KNYIGA
Simolenskaya Ploshchad, Moskva.

YUGOSLAVIA:
CANKARJEVA ZALOŽBA
Ljubljana, Slovenia.

DRŽAVNO PREDUZEĆE
Jugoslovenska Knjiga, Terazije 27, 11,
Beograd.

PROSVJETA
5, Trg Bratstva i Jedinstva, Zagreb.
PROSVETA PUBLISHING HOUSE
Import-Export Division, P. O. Box 559,
Terazije 16/1, Beograd.

OCEANIA

AUSTRALIA: MELBOURNE UNIVERSITY
PRESS
369 Lonsdale Street, Melbourne, C.1.

NUOVA ZELANDIA: UNITED NATIONS
ASSOCIATION OF NEW ZEALAND
C. P. O. 1011, Wellington.

ORIENTE MEDIO

IRAK: MACKENZIE'S BOOKSHOP
Baghdad.

ISRAEL: BLUMSTEIN'S BOOKSTORES
35 Allenby Rd. y 48 Nachlat Benjamin St.,
Tel Aviv.

JORDANIA: JOSEPH I. BAHOS & CO.
Dar-ul-Kutub, Box 66, Amman.

LIBANO: KHAYAT'S COLLEGE BOOK
COOPERATIVE
92-94, rue Bliss, Beyrouth.

[62S1]

Los pedidos o consultas de aquellos países donde aún no se venden las publicaciones de las Naciones Unidas deben dirigirse a: Sección de Ventas, Naciones Unidas, Nueva York (EE.UU. de A.); o Sección de Ventas, Oficina de las Naciones Unidas, Palacio de las Naciones, Ginebra (Suiza).