

EMPLEO DE LA ENERGIA NUCLEAR PARA DESALINIZAR AGUAS

En muchos países, el crecimiento demográfico, la elevación del nivel de vida y las exigencias cada vez mayores de la industrialización se traducen en cierta penuria de recursos hidráulicos, razón por la cual se examinan con interés las posibilidades que ofrece la desalinización de aguas en gran escala. El Organismo Internacional de Energía Atómica está realizando un estudio sobre la aplicación de la energía nuclear para tal fin, prestando especial atención a las necesidades de los países en vías de desarrollo.

Otras organizaciones han emprendido en varios países buen número de estudios técnicos y económicos en esa esfera. La desalinización de las aguas por destilación u otros procedimientos se practica desde hace mucho tiempo, pero por lo general sólo en escala reducida y con gastos relativamente elevados. La cuestión primordial que se plantea hoy día es la de saber si pueden obtenerse resultados considerablemente más económicos operando en gran escala y recurriendo a las técnicas más modernas.

El Presidente Johnson manifestó recientemente el interés de los Estados Unidos por cooperar con otros países deseosos de poner remedio a la escasez de recursos hidráulicos. "Ello formaría parte de un programa general en el que se mancomunarían experiencia y conocimientos en esta importante esfera", dijo el Presidente. "En este programa desempeñaría un papel preeminente el Organismo Internacional de Energía Atómica".

El asunto es de interés inmediato para las regiones áridas. El Organismo emprendió una serie de estudios como resultado de una petición presentada por Túnez a raíz de la Conferencia General de 1962. En marzo de 1963, se reunió en Viena, bajo la presidencia del Sr. J.K. Carr, Subsecretario del Departamento del Interior de los Estados Unidos, un grupo de expertos encargado de estudiar la manera en que el Organismo podría ayudar más eficazmente a los países en vías de desarrollo a utilizar la energía nuclear para desalinizar aguas. Después de esta reunión, se envió a Túnez un funcionario del Organismo con una misión de las Naciones Unidas y en septiembre de 1963 se organizó otro grupo de expertos que presidieron el Sr. Carr y el Sr. J. T. Ramey, miembro de la Comisión de Energía Atómica de los Estados Unidos. Participaron en él expertos de once países, así como de las Naciones Unidas y de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. El grupo examinó el estado actual de la técnica, inclusive los métodos de desalinización y tipos de reactor.

Procedimientos de purificación

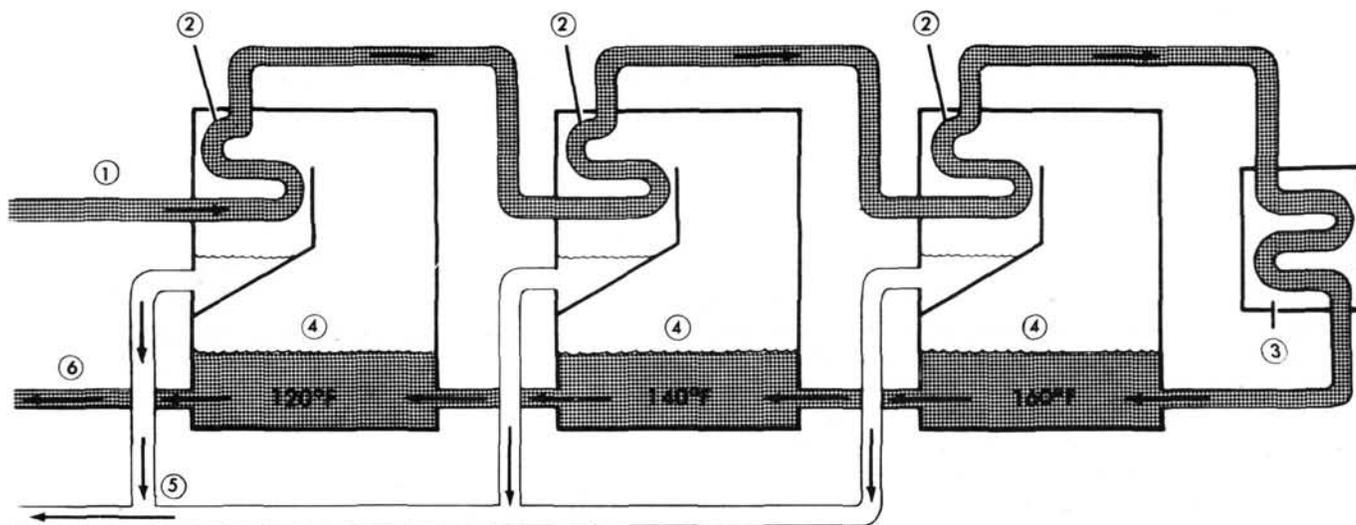
La energía nuclear constituye, desde luego, sólo una de las fuentes de energía térmica o eléctrica que pueden utilizarse para hacer funcionar las instalaciones de desalinización; la cuestión de decidir cuál de ellas ha de emplearse es sobre todo de carácter económico. En cuanto a la instalación de desalinización en sí, puede pertenecer a distintos tipos, algunos de los cuales utilizan la energía térmica y otros la eléctrica.

Lo más usual es la destilación por calentamiento. En las grandes instalaciones comerciales se utilizan ya dos procedimientos de esta índole, pero se están introduciendo en ellos considerables perfeccionamientos técnicos que permitirán reducir el costo del agua producida. La destilación proporciona agua que contiene algunas decenas de partes por millón de sales, es decir, es apta para usos industriales sin necesidad de tratamiento ulterior. Tomando como ejemplo una instalación basada en el sistema de evaporación instantánea, cuya producción diaria sea de 5 millones de galones, se calcula que los gastos de inversión ascienden en la actualidad a 80 centavos de dólar por galón de capacidad diaria; si el costo del combustible fuera de 35 centavos por millón de unidades térmicas británicas (Btu), el agua costaría unos 65 centavos los 1 000 galones.

El otro procedimiento importante basado en la evaporación es la destilación de efecto múltiple, utilizando largos tubos verticales. Las instalaciones que aplican este procedimiento propenden a deteriorarse por corrosión; ello reduce la posibilidad de trabajar a temperaturas adecuadas y, por consiguiente, la capacidad de producción.

El procedimiento de compresión de vapor comienza con la ebullición del agua salobre. El vapor resultante se comprime, elevando ligeramente su temperatura, y al condensarse cede calor que se utiliza para evaporar más agua salobre. El procedimiento ofrece buenas perspectivas, pero transcurrirá algún tiempo hasta que puedan juzgarse sus posibilidades con conocimiento de causa. Lo mismo puede afirmarse del proceso de congelación, que se ha ensayado con buenos resultados en cierto número de plantas piloto y que continuará ensayándose en una planta de demostración que se construye actualmente en Carolina del Norte.

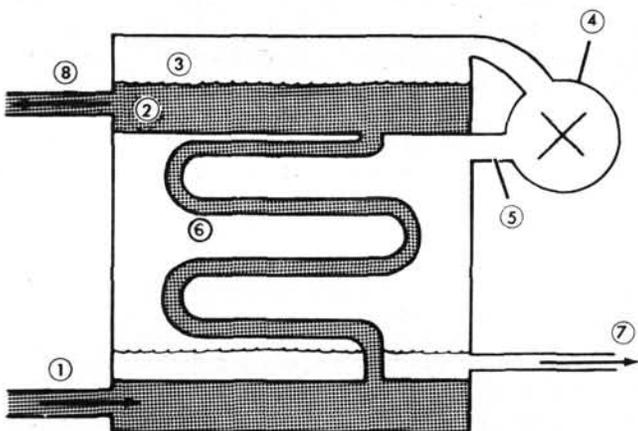
El procedimiento más importante basado en el empleo de la electricidad es la electrodiálisis, en el cual



DESTILACION INSTANTANEA

1. Entrada del agua salobre; 2. Condensador; 3. Calentador; 4. Vapor de generación instantánea; 5. Agua dulce; 6. Salida de la salmuera.

El agua, a temperatura y presión determinadas, se introduce en una cámara en que reina una presión ligeramente inferior a la atmosférica, donde se somete a vaporización instantánea y se condensa. El funcionamiento de las instalaciones al vacío de múltiples etapas se basa en el calentamiento progresivo del agua salobre hasta alcanzar la temperatura de 180° F, aproximadamente, y en la subsiguiente vaporización instantánea de una parte del agua en cámaras sucesivas, en las cuales el grado de vacío aumenta progresivamente. El vapor procedente de cada etapa se condensa sobre los tubos por los que entra el agua salobre, cuya temperatura es inferior, y constituye el agua dulce producida.



COMPRESION DE VAPOR

1. Entrada del agua salobre; 2. Agua salobre en ebullición; 3. Vapor a 212° F; 4. Compresor; 5. Vapor comprimido a 222° F; 6. Vapor de condensación; 7. Agua dulce; 8. Salida de la salmuera.

El agua salobre se hace hervir en el interior de un dispositivo de transmisión de calor, tal como el tubo de una caldera. El vapor se comprime, elevando su presión en unas 3 lb/pulg² y su temperatura en unos 9° F. El vapor calentado se hace volver al exterior del tubo de caldera, donde su calor latente de condensación contribuye a la evaporación del agua contenida en el tubo. El vapor condensado se extrae en forma de agua destilada haciéndolo pasar por un intercambiador de calor.

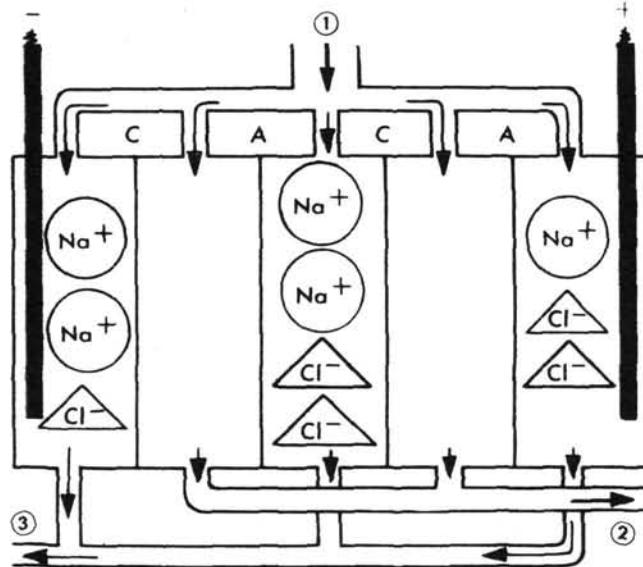
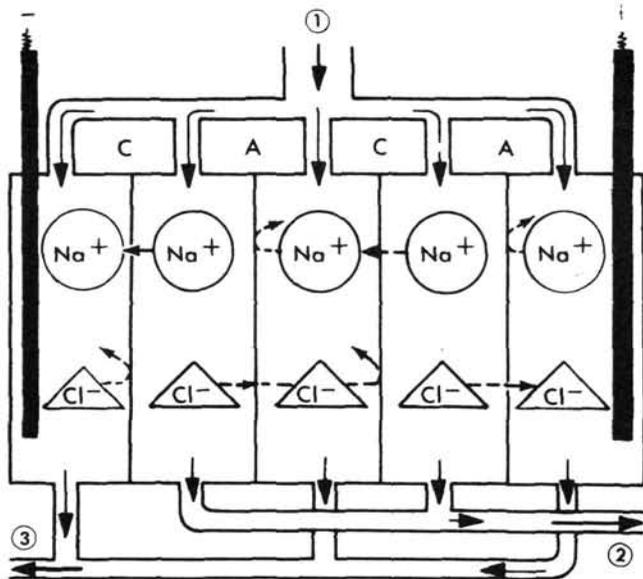
las sales sometidas a los efectos de una corriente eléctrica se separan con ayuda de membranas semi-permeables. Este proceso ha demostrado ya su utilidad, pero por ahora la demanda de membranas es escasa, de modo que resultan caras. El costo del procedimiento depende de la cantidad y naturaleza de las sales que han de eliminarse. La conductividad

del agua salobre es sumamente baja cuando el contenido de sales es inferior a 500 ppm., de forma que resultaría muy costoso aplicar este procedimiento para obtener agua de escasa salinidad; además, no elimina la materia orgánica que el agua suele contener. Tiene la ventaja de que puede utilizarse con corrientes de intensidad variable, lo que permite cierta flexibilidad de funcionamiento.

Utilización de los reactores

De todos estos procedimientos, el que más se ha perfeccionado es el de evaporación instantánea, que da en la actualidad los resultados más satisfactorios. Este procedimiento ofrece además una importante ventaja económica derivada de las grandes capacidades de producción inherentes al empleo de los reactores nucleares. La energía nucleoelectrónica resulta más barata cuanto mayor es la escala en que se genera, y en la actualidad se tiende a construir instalaciones de desalinización de gran envergadura.

Los reactores de potencia que hoy se emplean para generar electricidad podrían aplicarse a los procedimientos de desalinización descritos, pero la experiencia adquirida hasta el presente demuestra que resultan demasiado onerosos. Para los procedimientos de destilación (que son los más adecuados para desalinizar el agua del mar) sólo se necesita vapor a baja presión. Los reactores podrían proyectarse conforme a criterios tecnológicos más económicos, sobre todo en lo que se refiere a la obtención de vapor a baja presión, pero ello suscitaría dificultades en la transmisión de calor. Desde el punto de vista económico, el perfeccionamiento de los reactores de



ELECTRODIALISIS

1. Entrada del agua salobre; 2. Agua dulce; 3. Salida de la salmuera.

Cuando se hace pasar una corriente eléctrica por una solución salina, los cationes de la solución se desplazan hacia el cátodo y las aniones hacia el ánodo. Las membranas en forma de placas de intercambiadores catiónicos o aniónicos permiten el paso de los cationes o de los aniones, respectivamente, presentes en la solución. Si entre los electrodos se coloca una serie de membranas alternativamente permeables a los cationes y a los aniones, éstos atraviesan la membrana a ellos permeable al desplazarse hacia el ánodo, pero son detenidos por la próxima membrana, que sólo es permeable a los cationes. Análogamente, los cationes que se desplazan en sentido opuesto atravesarán la membrana a ellos permeable, pero no la próxima. Así, a medida que los aniones y cationes se concentran y combinan en compartimientos alternos, aumenta la salinidad del agua en éstos contenidos, mientras que disminuye la del agua de los otros compartimientos. (Este esquema y los dos que le preceden se han tomado de la *McGraw-Hill Encyclopedia of Science and Technology*. Copyright 1960 McGraw-Hill Book Co. Reproducción autorizada).

ese tipo no parece rentable, sobre todo en la gama de potencias que interesa a los países en vías de desarrollo.

El vapor a baja presión se obtiene en condiciones más económicas expandiendo en una turbina vapor de alta presión -de aquí la ventaja de instalaciones combinadas que produzcan electricidad y agua dulce. Por ejemplo, la Comisión de Energía Atómica de Estados Unidos ha calculado lo que costaría el calor suministrado a una instalación de desalinización por un reactor de agua ligera y uranio enriquecido. Para un reactor de 1 500 MW(t) destinado exclusivamente a desalinizar agua, se estima que el costo ascendería a 33 centavos por millón de Btu. Si generase también electricidad, el costo sería del orden de los 20 centavos.

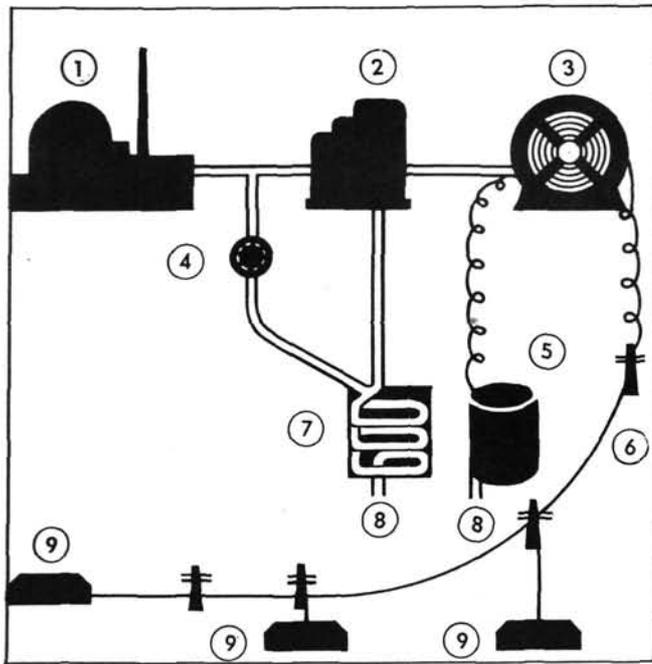
Las instalaciones de desalinización que utilicen vapor a baja presión pueden asociarse a cualquier turbina de condensador. Así, es posible producir cierta cantidad de agua desalinizada sin alterar sensiblemente las características iniciales de la instalación; esta agua se obtiene al mejor precio posible, ya que la energía puede considerarse como suministrada gratuitamente. Sin embargo, la cantidad de agua producida en estas condiciones es limitada y depende de la temperatura de admisión del vapor en la turbina.

Para una instalación mixta que aplique el procedimiento de evaporación instantánea, el punto óptimo corresponde a una relación del orden de un galón de agua por kilovatio hora de electricidad. Los gastos de inversión de la central inicial resultan sólo aumentados en un 8 por ciento para una capacidad de varios millones de galones al día.

Instalaciones mixtas

El problema de alcanzar el rendimiento óptimo de una instalación mixta es relativamente sencillo cuando la producción de agua y la de electricidad son independientes de las variaciones estacionales y cotidianas de la demanda. Como los reactores nucleares resultan favorecidos por los factores de carga y las capacidades de producción elevados, su empleo en instalaciones mixtas dependerá ante todo de la flexibilidad de estas instalaciones, esto es, de la medida en que puedan aplicarse los diferentes procedimientos de desalinización para compensar las fluctuaciones de la demanda de electricidad y para mantener o elevar el factor de carga del generador de vapor. Son múltiples las combinaciones posibles de los diferentes procedimientos de desalinización, que consumen cada uno diferentes formas de energía. Estas combinaciones son aún más numerosas si se tiene en cuenta la posibilidad de almacenar el agua y de transmitir la energía eléctrica.

Cuanto mayor es la flexibilidad mayores son los gastos de inversión, pues ciertos elementos de la ins-



- | | |
|--|-----------------------------------|
| 1 REACTOR O GENERADOR DE VAPOR | 6 RED DE DISTRIBUCION |
| 2 TURBINA | 7 INSTALACION DE DESTILACION |
| 3 ALTERNADOR | 8 AGUA DULCE |
| 4 VALVULA DE EXPANSION | 9 INSTALACIONES DE DESALINIZACION |
| 5 ELECTRODIALISIS O COMPRESION DEL VAPOR | |

talación sólo funcionan una parte del tiempo a pleno rendimiento. Por consiguiente, para estas instalaciones hay que considerar aquellos procedimientos que supongan los gastos de inversión más reducidos. Incluso las instalaciones mixtas que utilizan un solo tipo de procedimiento poseen cierta flexibilidad; se trata de asegurar, según el tipo de procedimiento, una demanda continua de vapor o de electricidad.

El esquema adjunto representa una instalación basada en el procedimiento de evaporación instantánea. Cuando la demanda de electricidad disminuye, parte del vapor a elevada presión puede derivarse directamente a la instalación de desalinización por medio de una válvula de expansión. Si el diseño es adecuado, es posible adaptar a la demanda la producción diaria de agua y reducir las fluctuaciones impuestas a la carga de la fuente de energía térmica.

Cuando se recurre a la electrodialisis, la instalación de desalinización puede ponerse en funcionamiento muy rápidamente. Como este procedimiento puede aplicarse con densidades de corriente variables permite una utilización muy flexible de la potencia disponible. Además, como está basado en el empleo de la electricidad y no del calor, y dado que la energía eléctrica es fácilmente transmisible a distancia, la instalación de desalinización puede situarse en el lugar que resulte más económico para la distribución del agua. Sería posible construir varias instalaciones dispersadas según las necesidades de

la región, pero en tal caso se perderían las ventajas inherentes a las instalaciones de gran capacidad.

Otros procedimientos ofrecen numerosas posibilidades en lo que respecta a la flexibilidad de las instalaciones mixtas, pero un sistema muy flexible supone mayores gastos de inversión y un menor rendimiento de determinados elementos de la instalación. Es evidente que se han de estudiar las circunstancias particulares de cada caso.

Tipos de reactor

En las instalaciones mixtas se utilizarían reactores de potencia de tipo bien probado. En la actualidad cabe elegir entre los siguientes tipos: agua ligera/uranio enriquecido, agua pesada/uranio natural y gas-grafito/uranio natural. Los estudios realizados por varias organizaciones en diferentes países revelan que, por ahora, los reactores de agua ligera son los únicos que pueden competir con las centrales térmicas tradicionales para potencias del orden de los 100 MW(t). Los dos tipos restantes (agua pesada/uranio natural y gas-grafito/uranio natural) sólo merecen ser tomados en consideración para instalaciones de capacidad mucho más elevada.

El moderador de un reactor de agua pesada se suele enfriar por circulación en un intercambiador de calor y, muy a menudo, la energía así evacuada no se recupera. Sometiendo el moderador a una ligera sobrepresión, es posible elevar su temperatura para que pueda servir como fuente de energía de una instalación de destilación. La recuperación, por este método, de algunas unidades por ciento de la potencia térmica del reactor constituye una ventaja considerable.

El estudio de los reactores de gas-grafito/uranio natural indica que una instalación mixta alimentada por un reactor de 1 000 MW(t) podría suministrar una potencia eléctrica neta de 200 MW(e) y una producción diaria de 80 millones de galones, a un costo de 6,4 mills. por kWh la electricidad, y de 41 centavos por 1 000 galones, el agua desalinizada.

La potencia del reactor generador más grande actualmente en construcción asciende a 3 000 MW(t); una instalación de esta índole podría producir agua para usos domésticos e industriales a un costo capaz de competir con el de las nuevas fuentes de suministro en zonas donde el agua ya escasea, tales como California, París o Mánchester. Para reactores mucho más grandes, se han calculado por extrapolación costos muy aceptables, pero mientras dichos cálculos no tengan una base más sólida fundada en la experiencia, deben considerarse como mera especulación. De todos modos, los países en vías de desarrollo se interesan en la actualidad por reactores de potencia comprendida entre 200 y 1 000 MW(t).

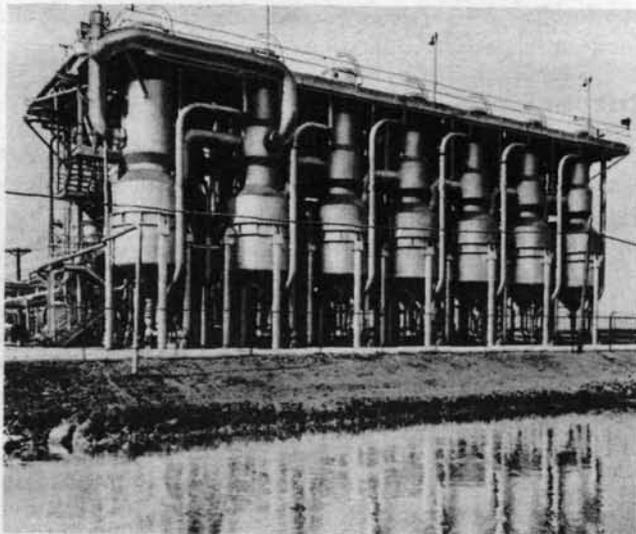
Estudios necesarios

Los reactores mencionados pertenecen a sistemas bien establecidos. Pero dentro de cada sistema, la potencia térmica, las características termodinámicas, la concepción tecnológica y los elementos combustibles varían de un reactor a otro. Podrán lograrse economías considerables el día en que cierto grado de normalización de los reactores y de los combustibles permita distribuir los gastos de estudio y de construcción.

Deben realizarse estudios técnicos y económicos sobre instalaciones combinadas de producción de agua dulce y de electricidad, para recomendar una serie de instalaciones más adecuadas y de regímenes de funcionamiento. En particular, debería efectuarse un estudio completo de las instalaciones mixtas, tradicionales y nucleares; dicho estudio comprendería el balance termodinámico de esas instalaciones, su flexibilidad y sus condiciones de rendimiento económico óptimo. A ello debería seguir la construcción de instalaciones de demostración de dimensiones medias, que es la única manera de establecer una firme base económica para el futuro. Como proyecto internacional, podría construirse una instalación mixta de demostración de mayor envergadura.

Al examinar las posibilidades que ofrecen las instalaciones de desalinización para las regiones áridas o semiáridas, es evidente que resulta más ventajoso preparar planes para la región considerada en conjunto y no para centros aislados. Cuando tales re-

En Freeport, Texas (Estados Unidos), una planta experimental convierte cada día un millón de galones de agua del mar en agua dulce. Esa planta, que funciona con energía de origen tradicional, se basa en la destilación por efectos múltiples. Es una de las plantas experimentales que utilizan diversos sistemas y se ha construido como parte del programa a largo plazo de desalinización del agua del mar que patrocina el Gobierno de los Estados Unidos (foto U.S. Information Service)



giones pertenezcan a varios países, redundaría grandemente en beneficio de los países interesados coordinar la solución de sus problemas de producción de energía eléctrica y de agua.

Las investigaciones iniciales del Organismo sobre posibles aplicaciones en regiones áridas de los países en vías de desarrollo indican que, con el actual método de generación mediante centrales Diesel, el costo de la electricidad producida es bastante elevado, y que los proyectos combinados de producción de energía eléctrica y de agua dulce deberían proporcionar electricidad más barata. Parece razonable suponer que el precio de ésta podría fijarse a un nivel tan bajo, con respecto al actual precio de la producida por centrales Diesel, que favoreciese la electrificación y comprendiese incluso un margen con el que se subvencionaría la producción de agua. Además, como un proyecto combinado de esa naturaleza proporcionaría agua a un costo menos elevado, permitiría a los gobiernos suministrar más agua con la misma subvención.

Utilizaciones futuras

Las perspectivas inmediatas de utilización en gran escala del agua desalinizada para la agricultura no son alentadoras. Actualmente, la mayor parte de las redes de riego están subvencionadas; los gastos de inversión corren a menudo por cuenta de los Estados, mientras que el precio pagado por el cultivador apenas cubre los gastos de explotación. Después de haber estudiado gran número de casos en el mundo, y suponiendo que los gobiernos puedan subvencionar hasta un 40 por ciento el agua de riego, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación llega a la conclusión siguiente:

"Salvo en casos muy específicos, no será posible pensar en la utilización, en condiciones económicas, de agua desalinizada para la irrigación en tanto que su costo de producción, sin subvención, sea superior a 10 centavos por 1 000 galones de los Estados Unidos. La utilización de agua desalinizada para la agricultura podrá desarrollarse en gran escala únicamente cuando dicho costo sea del orden de 3 centavos por 1 000 galones."

La demanda energética de las regiones agrícolas es muy reducida y el riego por sí solo exige alrededor de 1 kWh por 1 000 galones de agua suministrada al consumidor. Además, la aplicación de agua desalinizada para la agricultura requiere métodos especiales, para cuya elaboración se necesitará mucho tiempo. Resultaría muy útil disponer terrenos piloto de 10 a 20 ha en las proximidades de las primeras instalaciones mixtas. Más adelante un terreno piloto más extenso de unas 1 000 ha constituiría una etapa indispensable antes de emprender proyectos en gran escala.

La información reunida por el Organismo sobre el Sur de Túnez indica que, en el estado actual de la tecnología, sería posible proceder allí a desalinizar el agua del mar, y que se obtendrían considerables economías combinando esta actividad con la producción de electricidad; la fuente de energía sería probablemente un reactor nuclear.

En la actualidad es, pues, poco probable que los procedimientos de desalinización se utilicen para obtener agua destinada al riego, salvo en circunstancias especiales, verbigracia, cuando haya una gran demanda de electricidad a un precio lo bastante elevado para subvencionar el tratamiento del agua. En

cambio, cuando los métodos se hayan perfeccionado, las posibilidades de aplicación industrial y doméstica parecen considerables, sobre todo cuando se disponga de amplio margen para aumentar el consumo de electricidad. La construcción de grandes unidades favorecería a la energía nuclear, pero las centrales nucleoelectricas de grandes dimensiones sólo pueden integrarse en las redes de distribución si la magnitud de su carga básica lo justifica. La tendencia al constante aumento que acusa la demanda de electricidad, y el progreso tecnológico en la esfera nuclear, parecen indicar que la energía nuclear desempeñará con el tiempo una función importante en el abastecimiento de agua.

LA INVESTIGACION PURA EN LOS PAISES EN VIAS DE DESARROLLO

Por Michael. J. Moravesik

El Dr. Moravesik, del Lawrence Radiation Laboratory, de la Universidad de California, fue enviado al Pakistán por el OIEA como profesor invitado. Trabajó sobre física nuclear teórica en el Centro de Energía Atómica de Lahore desde septiembre de 1962 hasta mayo de 1963. En el presente artículo expone algunas de las opiniones personales que formó como fruto de su experiencia.

Hoy en día, la asistencia técnica constituye una actividad muy extendida. Gran número de personas especialmente calificadas en ciencias aplicadas se trasladan a los países en vías de desarrollo para trabajar en proyectos de investigación y fomento, de la misma forma que lo hacen los educadores que participan en el programa Fulbright o en otros programas análogos, es decir, para dar cursos de tipo elemental o medio. En cambio, creo que muy rara vez se ha dado el caso de que una persona especialmente interesada en la investigación pura acuda a uno de esos países para dar enseñanza teórica superior o para hacer investigaciones fundamentales.

Habiendo regresado recientemente a mi país después de una misión de ese tipo que me procuró una experiencia de lo más estimulante e instructiva, recomiendo a quienes estén en condiciones de permitírsele que busquen la oportunidad de pasar por una experiencia semejante.

Lo primero que quiero hacer es demostrar que la enseñanza superior y la investigación pura constituyen una necesidad acuciante en los países en vías de desarrollo. Esto no es evidente, ni mucho menos. En efecto, sé de varios físicos destacados (uno de ellos, por lo menos, galardonado con el Premio Nóbel) que están convencidos de que es prematuro fo-

mentar la enseñanza científica superior y la investigación pura en esos países, y que es mejor esperar todavía unos cuantos decenios. En realidad, ¿por qué un país cuya agricultura sigue empleando tal vez los mismos métodos que hace 2 000 años, cuya producción industrial no es mayor que la de una ciudad de Occidente de mediana población, y cuyas instituciones sociales son las de una era ya pasada, por qué, repito, ha de ocuparse ese país de la investigación pura en la esfera científica?

Razones que justifican la investigación

Permítaseme enumerar algunas de las razones más importantes por las que creo que la investigación pura es de gran valor incluso hoy en día:

Nadie niega que haya una enorme escasez de profesionales de las ciencias aplicadas (tecnólogos) que puedan investigar los problemas económicos y técnicos peculiares de un país. Ahora bien, de la formación teórica de estos especialistas tienen que encargarse personas acostumbradas a ahondar en los principios fundamentales de la ciencia. Esto obedece a que la ciencia pura de hoy se transformará en la ciencia aplicada del porvenir. La formación profesional de un futuro ingeniero especializado en reactores antes de 1940,