

# EL PORVENIR DE LOS REACTORES GENERADORES DE PEQUEÑA Y MEDIANA POTENCIA

Los 64 trabajos presentados en la Conferencia sobre reactores generadores de pequeña y mediana potencia, celebrada por el CIEA en Viena del 5 al 9 de septiembre de 1960, suponen un estudio a fondo de los aspectos tecnológicos y económicos de la producción de energía nucleoelectrica en la actualidad. Asistieron a la Conferencia más de 250 representantes de 40 países.

Desde que en 1958 se celebró en Ginebra la segunda Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Utilización de la Energía Atómica con Fines Pacíficos, no había habido ninguna reunión internacional de gran envergadura consagrada a la producción de energía nucleoelectrica. La primera Conferencia de Ginebra, organizada por las Naciones Unidas en 1955, había suscitado una corriente de optimismo general acerca del porvenir de la energía nucleoelectrica, optimismo que desapareció como consecuencia de las conclusiones de la segunda Conferencia. En cambio, la reunión organizada en Viena por el OIEA tuvo lugar en un momento en que los últimos progresos técnicos permitían abrigar justificadamente una confianza moderada. Así lo afirmó el Director General del OIEA, Sr. Sterling Cole, quien en su discurso inaugural habló de los "notables progresos" realizados en los seis últimos años para conseguir que la energía nucleoelectrica sea eficaz, segura y económica. "Están a punto de producirse hechos importantes en la esfera de la energía atómica", dijo el Sr. Cole, "y hay indicios de que a fines de este decenio la energía nucleoelectrica será rentable en aquellas regiones en que los precios del combustible son algo superiores a los normales. En los lugares en que dichos precios son elevados, la energía nucleoelectrica resultará rentable ya para el año 1965".

La Conferencia organizada por el OIEA se centró en los reactores generadores de pequeña y mediana potencia por ser los que mayor interés ofrecen para los países insuficientemente desarrollados. La Conferencia formaba parte del programa iniciado por el Organismo para fomentar la producción de energía nucleoelectrica en dichos países. Este programa comprende investigaciones sobre las necesidades de energía nucleoelectrica de los países menos desarrollados, el estudio continuo de la tecnología y la economía de los reactores generadores que mejor se adapten a las condiciones de dichos países, la difusión de las informaciones así obtenidas, y la asistencia para la formación de personal.

Aunque los trabajos de la Conferencia se centraron en los reactores generadores de pequeña y mediana potencia, también se estudió el desarrollo de reactores de mayor potencia, toda vez que las cuestiones tecnológicas son en gran parte comunes a unos y otros, y dado también que sobre los reactores de gran potencia se dispone de más información, en particular económica, que sobre los de pequeña y mediana potencia.

Se facilitaron datos sobre una extensa gama de cuestiones relacionadas con los reactores generadores: el cálculo del costo de la energía nucleoelectrica, resúmenes de los programas nacionales, las aplicaciones de dicha energía en los países insuficientemente desarrollados, el empleo de reactores para la producción de calor industrial, la seguridad de los reactores, los resultados de la experiencia adquirida con la construcción y explotación de reactores generadores, la evaluación técnica de los diversos tipos de reactor, etc.



En la sesión de apertura de la Conferencia sobre Reactores de Pequeña y Mediana Potencia aparecen en la tribuna, de izquierda a derecha: Munir Khan, Secretario Científico (OIEA); Hubert de Laboulaye, Director General Adjunto del OIEA; Sterling Cole, Director General del OIEA; G.C. Laurence (Canadá), Presidente de la sesión; Arkadij Rylov, Director General Adjunto del OIEA; George Petretic, Secretario Científico (OIEA)

## Costo de la energía nucleoelectrónica

Los circunstancias creían que las centrales nucleoelectrificadas de gran potencia podrían competir pronto en el terreno económico con las centrales a base de combustibles fósiles. Según el Sr. U. Staebler (Estados Unidos), se supone que "en algunos casos, la energía nucleoelectrificada puede llegar a ser rentable en los Estados Unidos... dentro del decenio en curso; de hecho, en la actualidad se pueden construir centrales de gran potencia que quizá resultasen rentables durante todo su funcionamiento".

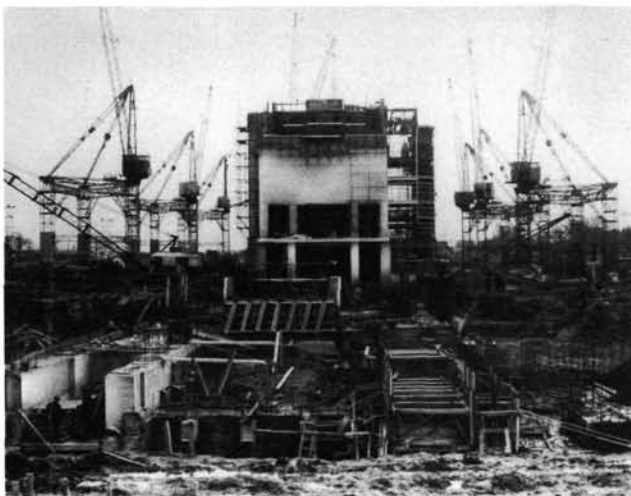
El Sr. J. Melvin dijo que la planta "CANDU" de 200 megavatios eléctricos (MW(e)) que se está construyendo en el Canadá es la precursora directa de las centrales que producirán energía a 5 mills/kWh y que, por lo tanto, resultarán "rentables en general" en aquel país.

En uno de los trabajos presentados, los Sres. K. Kubishiro, Y. Togo y K. Mochizuki calculan que, en determinadas condiciones, las plantas nucleares de su país podrán afrontar la competencia en el suministro de energía eléctrica dentro de un plazo de 5 a 15 años.

Se predijo que muy pronto podría producirse energía nucleoelectrificada rentable pese a que, según todos los circunstancias, las centrales nucleares requerían una inversión de capital mucho mayor que las centrales de tipo tradicional. En un estudio del Sr. F. McCloska (Estados Unidos) se indica que un reactor de gran potencia tiende a costar por lo menos un 50 por ciento más que una central térmica de carbón.

El Sr. McCloska enumeró algunos de los factores que motivan esta diferencia en la cuantía de los gastos de capital. Debido al hecho de que la industria nuclear se encuentra todavía en su etapa inicial, el diseño y la adquisición del equipo, así como la administración de los proyectos, son más costosos.

Reactor 2 en construcción en Chapelcross (Reino Unido)



Además, los requisitos jurídicos: restricción del acceso a determinadas zonas, investigación a fondo de los riesgos, control contable de las sustancias fisionables y ensayo de materiales, incrementan aún más el costo de una central nuclear. En un estudio del problema se ha llegado a la conclusión de que las medidas de seguridad, como por ejemplo las relativas a las instalaciones eléctricas, el blindaje y el confinamiento del reactor, incrementan en 17,50 dólares el costo de un kilovatio producido en una central nucleoelectrificada. El financiamiento, además, resulta más costoso al ser más prolongado el tiempo que se tarda en construir la central. Según el Sr. McCloska, no es posible eliminar la diferencia entre los gastos de capital de uno y otro tipo de centrales, pero se puede reducirla, tal vez a la mitad, gracias a las innovaciones técnicas, a una mayor experiencia, a la normalización de los métodos, a la adopción de medidas menos estrictas, y a una mayor rapidez en la construcción.

Los gastos de conservación también serán más elevados en las centrales nucleoelectrificadas que en las de tipo tradicional. Esta fue la opinión de R. Guard (Reino Unido), quien dijo que "un reactor generador de energía nucleoelectrificada tiene el doble de elementos auxiliares que un generador térmico tradicional y muchos de ellos son de reciente creación, por lo que se carece de gran experiencia en cuanto a su funcionamiento". El Sr. Guard indicó que habría diferencias según el tipo, la potencia, la ubicación y el procedimiento de explotación del reactor, y añadió que "una cifra razonable" para los gastos de conservación sería el 1 por ciento del costo anual de la central.

En estas circunstancias, y como se afirma en el trabajo del Sr. McCloska, para poder competir en la producción de energía nucleoelectrificada lo principal es "alcanzar y mantener un costo total del ciclo de combustible lo suficientemente inferior al costo de los combustibles de tipo clásico para que quede compensado el gasto de capital inevitablemente mayor propio de una central nucleoelectrificada". Como ya se ha indicado, los circunstancias creían que esto podría lograrse en fecha relativamente cercana por lo que respecta a los reactores de gran potencia.

La Conferencia pudo comprobar que las perspectivas son menos prometedoras por lo que se refiere al costo de la energía nucleoelectrificada obtenida con reactores que no sean de gran potencia. Se citaron muchas cifras que demuestran que la energía obtenida con reactores de pequeña potencia cuesta mucho más que la de los de gran potencia, y se comprobó que esta desventaja se registraba en todas las principales partidas de gastos: capital, combustible y explotación.

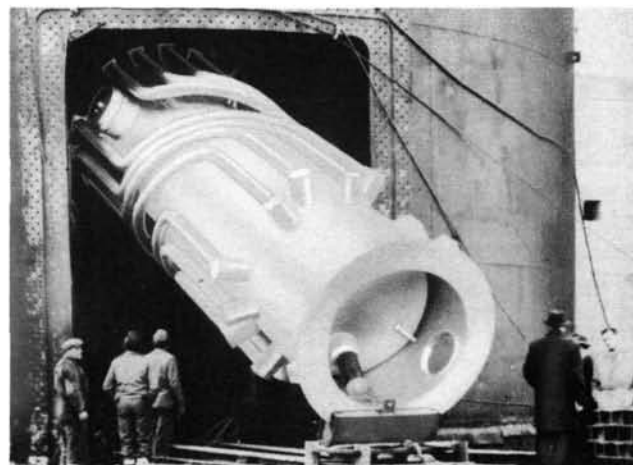
En el trabajo del Sr. U. Staebler (Estados Unidos) se atribuye la elevada cuantía del capital necesario para la construcción de una central nuclear al hecho de que ciertas instalaciones y servicios anejos a los reactores tienen que tener siempre, como mínimo, un determinado tamaño en la práctica, por lo que los gastos de capital "no disminuyen proporcionalmente

a la capacidad de la central". El Sr. Staebler citó como ejemplos el equipo para la manipulación del combustible, el blindaje, el sistema de confinamiento, las instalaciones para la descontaminación y la manipulación de desechos radiactivos, y el equipo de control del reactor. Análogamente -añadió- "los gastos de explotación de las centrales de poca potencia tienden a ser mayores por unidad de energía producida que en las centrales de gran potencia... debido a que una central, sea cual fuere su potencia, necesita un mínimo de personal que se encargue de su funcionamiento". Respecto del costo del combustible, el Sr. Staebler dijo que si su cuantía aumenta al disminuir la potencia de la central esto se debe principalmente al hecho de que "cuanto mayor sea el escape de neutrones, mayor tendrá que ser el enriquecimiento del combustible y más corta será la vida útil permitida por la reactividad". Este efecto, en su opinión, "podría quedar reducido al mínimo si se elige acertadamente el diseño del reactor y se aplican diversos sistemas de administración del combustible y de carga por zonas".

Aunque es bien sabido que el costo de la energía eléctrica de origen tradicional crece también al disminuir la potencia de la central, la opinión general fue que este efecto es mayor en el caso de las centrales nucleoelectricas que en el de las tradicionales. Por consiguiente, la diferencia entre el costo de la energía nucleoelectrica y el de la tradicional tiende a ser mayor al disminuir la potencia de la central. Así, por ejemplo, el Sr. J. Lane expuso los resultados de un estudio de tres tipos de reactores muy perfeccionados, que prueban que, en los Estados Unidos, las centrales de 10 MW(e) alimentadas con carbón pueden producir energía que costará de 9 a 18 mills/kWh menos que la producida por centrales nucleoelectricas de potencia equivalente, en tanto que para las centrales de 100 MW(e) la desventaja correspondiente a las centrales nucleoelectricas es sólo de 2 a 6 mills/kWh.

Un reciente estudio de la Comisión de Energía Atómica de los Estados Unidos, que recogen en un trabajo los Sres. J. Kaufmann, M. Wiener y J. Roberts, indica que, en 1970, la energía producida en una central nucleoelectrica de 40 MW (e) costará de 13 a 16 mills/kWh, frente a los 11 mills/kWh aproximadamente que cuesta en la actualidad la producida en centrales de tipo tradicional. Otro estudio del porvenir de las centrales de gran potencia pone de manifiesto la probabilidad de que resulten económicamente rentables antes de 1970.

Se plantearon diversas cuestiones acerca de los métodos que actualmente se emplean para calcular el costo de la energía nucleoelectrica. Según el Sr. A. Lévai (Hungría), es muy importante analizar las repercusiones que la inclusión de una central nucleoelectrica en una red de suministro interconectada tiene sobre el costo de la energía para todos los consumidores de la red y no sólo para los que sirva directamente la citada central. Por otra parte, los Sres. G. Petretic y R. Krymm, funcionarios del OIEA, demostraron cómo los diversos procedimien-



Montaje del recipiente de presión en el edificio en que se halla instalada la central nucleoelectrica de 15MW(e) en Kahl/Main (República Federal de Alemania)

tos empleados para calcular el costo de la energía nucleoelectrica dan resultados muy diferentes. Ambos describieron un programa elaborado por el OIEA con miras a normalizar en lo posible los cálculos y la presentación de los datos fundamentales sobre el costo de los reactores generadores.

### Programas nacionales de producción de energía nucleoelectrica

Varios de los trabajos presentados versaban sobre los factores que contribuyeron a dar forma a los programas nacionales de producción de energía nucleoelectrica en algunas de las naciones más industrializadas.

El Sr. U. Staebler (Estados Unidos) manifestó que al elaborar el programa de su país se había puesto de evidencia que convenía desarrollar toda una serie de conceptos de reactor "a fin de tener la completa seguridad de que se contaba con los diseños de planta nuclear más adecuados para la amplia gama de aplicaciones de la energía nucleoelectrica y para hacer frente a todas las situaciones imaginables". El mencionado programa se basa en la probabilidad de que la energía nucleoelectrica, en los Estados Unidos, llegue a poder competir en primer lugar en las regiones en las que resulten rentables las centrales de gran potencia por ser relativamente elevado el costo de los combustibles fósiles, pero sin que por ello se descuiden las centrales de pequeña potencia.

En dos trabajos canadienses del Dr. G. Laurence y del Sr. J. Malvin se expone con toda claridad que los reactores generadores en construcción o proyecto en el Canadá se basan todos, virtualmente, en el empleo de uranio natural como combustible y de agua pesada como moderador. El Dr. Laurence manifiesta que su país continuará prefiriendo ese tipo de reactor mientras el uranio siga siendo un combustible abundante y barato.

El trabajo japonés antes mencionado explica por qué el Japón ha preferido por el momento instalar un pequeño reactor de agua hirviente y otro mayor de uranio natural con refrigeración gaseosa. La diferencia de coste de la energía producida en cada uno no se cree que pase de un 10 por ciento. La planta de uranio natural es fruto de una tecnología mejor comprobada en la práctica, y la experiencia que con ella se adquiriera será esencial "si el reactor reproductor de neutrones rápidos se utiliza en lo futuro como reactor generador confines comerciales". Por otra parte, el reactor de agua hirviente encierra grandes posibilidades si se llegan a resolver ciertos problemas relacionados con los elementos combustibles. En cuanto a la necesidad de iniciar ya en el Japón un programa de producción de energía nucleoelectrónica, obedece al hecho de que el progreso en el terreno hidroeléctrico ha alcanzado ya su límite, aparte de que el carbón y el petróleo resultan caros.

El Dr. H. Brüchner manifestó que la compañía eléctrica que está instalando en Kahl on Main (República Federal de Alemania) el reactor de agua hirviente de 15 MW(e) obró muy acertadamente al decidirse por esta planta piloto relativamente modesta en vez de construir una central nucleoelectrónica de gran potencia, "ya que de esta forma los riesgos que han de correr quienes por vez primera participan en tal empresa pueden reducirse a límites razonables sin por ello renunciar a adquirir una experiencia completa". El autor recomienda esta política a "todo país que se disponga a afrontar la producción de energía nucleoelectrónica". El Dr. Brüchner añadió que cuando se construye una planta piloto con el principal objeto de adquirir experiencia, es más importante mantener al más bajo nivel posible las inversiones de capital que pretender producir energía barata.

Esta sugerencia vino a corroborar las observaciones hechas en la primera sesión por el Sr. H. de Laboulaye, Director General Adjunto de Actividades Técnicas del OIEA, cuando expuso el objeto y alcance de la Conferencia. El Sr. de Laboulaye indicó que los fabricantes pueden mejorar la tecnología de los reactores generadores con mayor rapidez y con menos gastos si construyen muchas centrales pequeñas en vez de pocas centrales de gran potencia. Sugirió que "se limitasen los aspectos improductivos" instalando reactores en regiones "en las que la electricidad es cara y sigue siendo escasa, y en las que se aguardan con impaciencia los beneficios que puede reportar".

Más tarde, en un trabajo presentado en una de las sesiones técnicas de la Conferencia, el Sr. de Laboulaye analizó los diversos caminos que podían elegir los países que se encuentran en condiciones económicas distintas, para disminuir los gastos de construcción y de explotación de las centrales nucleoelectrónicas experimentales. Indicó que si un país se caracteriza por un elevado factor de carga, gastos de capital poco cuantiosos y un precio alto para la electricidad suministrada, queda justificada la construcción de una central experimental de gran poten-



Una futura aplicación de la energía nucleoelectrónica cuyas perspectivas se están estudiando en los Estados Unidos

cia, en tanto que, de darse las circunstancias opuestas, lo mejor es instalar una central modesta.

### Energía nucleoelectrónica para los países insuficientemente desarrollados

En varios de los trabajos presentados se examinó detenidamente la situación de los países insuficientemente desarrollados, enfocándola desde el punto de vista de la energía nucleoelectrónica. Los Sres. J. Barnea y E. de Breuver, de las Naciones Unidas, se refirieron a las características de la producción de energía eléctrica en dichos países: aunque de un país a otro existen grandes diferencias, no es raro encontrar en esas regiones pequeñas centrales dispersas y aisladas, cada una de las cuales suministra electricidad a una pequeña zona. Sus características son: un factor de utilización bajo, frecuente escasez de energía, un aumento muy rápido de la demanda, electricidad producida a un precio muy alto, y escasez de combustible, cuyo precio es elevado.

Los Sres. P. Teitelbaum y F. Pikler, del OIEA, analizaron los beneficios que la introducción de la energía nuclear podría reportar, a la larga, para la economía de los países insuficientemente desarrollados. Además del aumento de la renta nacional, es posible que se modifique la geografía económica del país, se introduzcan procesos industriales que anteriormente eran antieconómicos, se ahorren divisas extranjeras y se estimule, en general, el progreso científico y tecnológico.

Los Sres. Y. Kawashima y T. Suzuki, basándose en la historia económica del Japón, describieron el proceso mediante el cual podrían introducirse los reactores generadores en los países que se encuentran en fase de desarrollo. La industrialización va acompañada siempre de una intensificación del consumo de energía eléctrica. En las primeras etapas de la industrialización, cuando el suministro de energía eléctrica está organizado principalmente en el plano local, los reactores generadores de pequeña y

mediana potencia podrían desempeñar un importante papel, tal vez produciendo simultáneamente electricidad y calor industrial. Posteriormente, cuando el suministro de energía se lleva a cabo mediante redes regionales, nacionales o incluso internacionales, los reactores generadores de gran potencia son más apropiados.

Una sugerencia que coincide con el resultado de ese análisis es la contenida en un trabajo del Sr. J. van der Spek (Bélgica), quien propuso que se estudie detalladamente el diseño de pequeñas plantas nucleares transportables que se podrían trasladar de una localidad a otra cuando el aumento de la demanda de electricidad justificase su sustitución por instalaciones más potentes.

Ya se están diseñando plantas nucleares transportables, puso de manifiesto el Sr. J. Bratton (Estados Unidos) en un trabajo en el que describe un programa de su país encaminado a la construcción de reactores pequeños apropiados para su uso en instalaciones enclavadas en lugares remotos. Las principales características de estas plantas, además de la posibilidad de trasladarlas de un punto a otro -lo que les hace aptas para aquellas regiones- son su sencillez, la seguridad de su funcionamiento y su compacidad. El estudio del Sr. Bratton pone de relieve que si bien el costo inicial de esas plantas es superior en todos los casos al de los generadores de tipo tradicional y análoga potencia, pueden competir favorablemente con éstos en aquellas regiones en las que el precio de los combustibles clásicos sea lo suficientemente elevado. De esta forma, resultará rentable la central nucleoelectrónica de 5 MW(e) que va a construirse en la Antártida, igual que las de 40 y 20 MW(e) que se proyecta construir en Okinawa y en Guam, respectivamente.

## Reactores generadores de calor industrial

Aunque la Conferencia se ocupó principalmente de la producción de electricidad a base de reactores nucleares, también se examinaron las posibilidades de utilizarlos para producir calor industrial. Los Sres. L. Forgo, J. Halzl y M. Torma (Hungría) presentaron un trabajo en el que señalan que en los países pequeños cuya industria está bastante desarrollada -como Hungría- puede que la introducción de la energía nuclear resulte más económica a base de pequeños reactores generadores de calor industrial que con reactores nucleoelectrónicos. Para esos países, los reactores de gran potencia resultarían demasiado caros, pero, por otra parte, no sería práctico incorporar reactores poco potentes a las redes de suministro interconectadas. En cambio, las plantas generadoras de calor industrial que se necesitan son, por lo general, de pequeña potencia, no es tan fácil que queden anticuadas, pueden funcionar con factores de carga muy elevados y ayudarían a capacitar al personal que más adelante hubiera de encargarse de las centrales nucleoelectrónicas de gran potencia.

Los autores manifestaron que entre las características que hacen que una determinada industria pueda considerarse ya en condiciones de utilizar ca-

lor industrial de origen nuclear, figuran un elevado factor de utilización, la necesidad de disponer de vapor dentro de ciertas gamas de temperatura, y el encontrarse enclavada a considerable distancia de toda fuente de suministro de combustibles fósiles. Entre las industrias para las que más utilidad tendrá el calor industrial citaron la de la alúmina, la del papel, la de plásticos, la textil, la del cuero, la petroquímica, la del nitrógeno, la farmacéutica y la del caucho.



El NPD-2, primer reactor generador de energía del Canadá, cuya construcción está a punto de terminarse

En un trabajo de los Sres. B. Baines y J. Conway-Jones, se señala que en el Reino Unido hay 50 fábricas de productos químicos cuyo consumo de calor industrial excede de 150 000 libras/hora (unos 68 000 kg/h), cantidad que los autores estiman apropiada para la utilización eficaz del calor industrial de origen nuclear. Los autores describen un reactor con moderador orgánico capaz de producir vapor de características adecuadas para hacer frente a una amplia gama de necesidades de calor y fuerza propias de la industria química. En ciertas condiciones (demanda simultánea de vapor y de fuerza, y distribución de los costos entre uno y otra), tal sistema, en opinión de los autores, puede resultar rentable.

## Seguridad de los reactores

En un trabajo de los Sres. M. Biles y C. Beck (Estados Unidos) se subraya la necesidad de establecer normas y criterios fijos en materia de seguridad respecto de la ubicación, diseño, construcción y funcionamiento adecuados de los reactores. En el trabajo se exponen los criterios preliminares que se estudian en los Estados Unidos. No obstante, los autores llegan a la conclusión de que la falta de datos sobre el funcionamiento de los reactores y la incertidumbre en cuanto a la forma más adecuada de resolver el problema impiden en la actualidad el establecimiento de normas fijas, de manera que "la evaluación de los reactores desde el punto de vista de la

seguridad es en gran parte cuestión de apreciación basada en principios generales".

El Sr. Jantsch (Suiza) señaló que instalando los reactores bajo tierra se reducen los riesgos, toda vez que la roca constituye a la vez un blindaje adicional que preserva al medio ambiente de los efectos de un accidente y una protección segura frente al riesgo de que el reactor quede destruido por causas externas. El Sr. Jantsch hace una evaluación del "más grave accidente previsible" que pudiera sufrir una planta subterránea y demuestra que sus consecuencias serían relativamente ligeras.

Por otra parte, en un trabajo presentado por el Sr. C. Vélez (México) se indica que, en el caso de los reactores instalados en la superficie, las consecuencias derivadas de un escape accidental de productos de fisión disminuyen a medida que aumenta la altitud de la fuente que los difunde. Por esta razón, el Sr. Vélez recomienda que los reactores se instalen y diseñen de forma que la altitud de toda posible fuente difusora de productos de fisión sea la mayor posible.

## **Experiencia en la construcción y explotación**

Si bien la producción de energía nucleoelectrica es relativamente reciente -sólo han transcurrido seis años desde que comenzó a funcionar la primera central nucleoelectrica- se dispone ya de un caudal de experiencia en materia de construcción y explotación de este tipo de centrales que puede ser de gran utilidad para el futuro. En varios trabajos presentados se describe y evalúa esta experiencia.

En uno de ellos, presentado por el Sr. M. Minashin (Unión Soviética), se describe el funcionamiento de la primera central atómica de la URSS a partir de 1954. En el trabajo se subraya el excelente comportamiento de los elementos combustibles normalmente utilizados en la planta, ninguno de los cuales registró un fallo. En el trabajo se describen otras diversas pruebas experimentales llevadas a cabo en la citada planta, entre ellas "el primer sobrecalentamiento nuclear de vapor logrado en el mundo". La experiencia adquirida con el funcionamiento de esta planta piloto ha servido de base para el diseño y la construcción de la central nucleoelectrica de gran envergadura I. V. Kurchatov, en Bieloyarsk.

Otro trabajo de los Sres. T. Tuchy y T. Marsham (Reino Unido) describe la experiencia adquirida en cuatro años de funcionamiento de la central nuclear de Calder Hall. Los autores manifiestan que las únicas anomalías de importancia que se han producido se originaron en el equipo generador de electricidad y que, "en todos los casos, los circuitos de seguridad de los reactores evitaron que éstos sufrieran deterioros". Además, se ha comprobado que los niveles de radiación en todas las zonas utilizadas durante el funcionamiento de los reactores "son completamente aceptables".

En un trabajo de los Sres. D. Roy y T. Kettles se describen las modificaciones introducidas en la

vasija de presión del reactor experimental de agua hirviente del Laboratorio Nacional de Argonne (Estados Unidos), con objeto de aumentar su rendimiento térmico inicial (20 MW) hasta 100 MW. El éxito de estas modificaciones prueba una vez más lo fácil de conservar que es este tipo de reactor.

En otros trabajos presentados por técnicos de los Estados Unidos se resumen los datos obtenidos durante tres años de funcionamiento de un pequeño reactor de agua a presión, así como los procedimientos de conservación y funcionamiento empleados en dos plantas con reactores de agua hirviente.

Varios trabajos presentados por representantes del Reino Unido estudian las necesidades de personal de las centrales nucleoelectricas. Los Sres. Tuchy y Marsham indican que el personal necesario para hacer funcionar los cuatro reactores de Calder Hall suma 50 profesionales y 80 supervisores que vigilan la labor de 280 operarios semiespecializados y de 230 encargados de la labor de conservación. El Sr. R. Guard llega a la conclusión de que las centrales nucleoelectricas bien diseñadas, con un solo conjunto de reactor y turbina, requieren más de "un hombre por megawatio" para potencias muy inferiores a los 100 MW(e), pero "esta proporción disminuye rápidamente" por encima de los 150 MW(e); en cambio, una central con dos reactores "no necesita mucho más de 0,5 hombres por megawatio". Por otra parte, el Sr. K. Frost subraya que para contar con un eficaz equipo de personal en una central nucleoelectrica hay que disponer de un grupo que posea los debidos conocimientos en cuestión de reactores y de otro que sea capaz de encargarse del equipo eléctrico y mecánico.

Los problemas de la construcción propiamente dicha de las plantas nucleares se estudian en un trabajo debido a los Sres. Knowles y Leader (Reino Unido). En él se llega a la conclusión de que "la construcción de una central nucleoelectrica difiere de la de una central de tipo tradicional en que exige mayor rapidez, precisión y atención a los detalles", así como en la necesidad de una coordinación mayor. Estas diferencias requieren que el personal encargado de la construcción quede fiscalizado por un cuadro de supervisores superior cuantitativa y cualitativamente al normal, y obligan a proporcionar cierta formación al personal. En otro trabajo, el Sr. Knowles describe los métodos seguidos en la construcción de la Central nucleoelectrica de Chapel Cross, con arreglo a un plan de trabajo según el cual el primer reactor había de quedar terminado en 36 meses y los tres restantes a lo largo de los 12 meses siguientes. Para los trabajos hubo que emplear mucho más personal que el que la firma constructora utiliza cuando se trata de centrales de tipo tradicional y potencia equivalente. No obstante, gran parte del trabajo era análogo al que se realiza al construir las centrales tradicionales, de manera que pudo recurrirse a técnicos y operarios duchos en la construcción de éstas.

En un trabajo de los Sres. R. Beeley y J. Mahlmeister (Estados Unidos) se describe cómo las dificultades con las que se tropieza al realizar un experimento con un reactor pueden servir de base para introducir perfeccionamientos en el diseño de un reactor de gran potencia del mismo tipo. El experimento en cuestión se realizó con el Reactor experimental de sodio (SRE) instalado en California, el cual sufrió el deterioro de sus elementos combustibles, aparte de otras dificultades. En el SRE se han hecho ya innovaciones a fin de evitar tales anomalías, como también en el diseño de la gran Central nuclear de Hallam que se está construyendo en Nebraska y que, según los autores del trabajo, tendrá una gran seguridad de funcionamiento y una vida útil muy prolongada.

### Evaluaciones técnicas

En la Conferencia se presentaron también trabajos que trataban de las características técnicas y de los aspectos económicos de toda una serie de tipos de reactores que las principales naciones industriales están desarrollando y cuya construcción se considera viable para obtener potencias pequeñas y medias. Entre los tipos de reactor descritos figuran los de agua hirviendo -con y sin sobrecalentamiento nuclear-, los moderados con agua pesada, los de agua a presión, los que llevan refrigerante orgánico y los refrigerados por gas.

### Conclusión

Al clausurar la Conferencia, el Director General del OIEA, Sr. Cole, manifestó que el estudio de la producción de energía nucleoelectrónica desde los puntos de vista técnico y económico que se había realizado era "una evaluación de la situación hecha con un criterio realista". Tal evaluación mostraba las perspectivas eran brillantes y alentadoras, pese a que actualmente la energía nucleoelectrónica resultaba más cara que la tradicional. El Director General Adjunto, Sr. de Laboulaye, puso de relieve en su última intervención la utilidad de las discusiones sobre la experiencia adquirida en materia de construcción y explotación de reactores y sobre los dispositivos de seguridad, las cuales han demostrado que los reactores generadores pueden emplearse ya sin temor. En una conferencia de prensa celebrada después de terminada la Conferencia, el Sr. de Laboulaye hizo observar que las perspectivas que ofrece la energía nucleoelectrónica en relación con su costo, aunque todavía no hayan sido confirmadas por la experiencia, son sin duda mucho más brillantes de lo que se creía en 1958, cuando se celebró en Ginebra la segunda Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Utilización de la Energía Atómica con Fines Pacíficos: "Esto demuestra -dijo- que seguimos el buen camino".

Las actas de la Conferencia serán publicadas por el OIEA en los primeros meses de 1961.

---

## INFORME SOBRE EL EXPERIMENTO DE DOSIMETRIA DE VINCA

El Director General del Organismo Internacional de Energía Atómica ha recibido recientemente el informe del grupo de expertos del Laboratorio Nacional de Oak Ridge (Estados Unidos) sobre el experimento de dosimetría realizado este año en Vinca (Yugoslavia).

Las conclusiones del grupo de expertos de Oak Ridge fueron examinadas en una reunión sobre el diagnóstico y tratamiento de las radiolesiones agudas, organizada por la OMS y el OIEA, y celebrada en Ginebra del 17 al 22 de octubre de 1960. Asistieron unos 30 especialistas de prestigio mundial, procedentes de los Estados Unidos de América, Francia, India, Países Bajos, Reino Unido, Unión Soviética y Yugoslavia, así como expertos de los organismos participantes.

Los expertos de Oak Ridge, dirigidos por el Dr. K.Z. Morgan, tomaron parte destacada en el experimento conjunto de dosimetría realizado por el OIEA en Vinca con el fin de esclarecer la relación entre

las dosis exactas de radiación recibidas y los efectos clínicos observados inmediatamente después del accidente ocurrido en el reactor de Vinca en octubre de 1958, así como durante el período de tratamiento, en Belgrado y en el Hospital Curie de París, de las seis personas irradiadas.

Como se poseen pocos datos precisos sobre la relación que existe entre las dosis de radiación y sus efectos en el hombre, el experimento de Vinca puede considerarse único en muchos aspectos. Sus resultados se estiman de gran valor tanto para el estudio científico de los efectos de las radiaciones como para el perfeccionamiento de los métodos terapéuticos.

En su informe, los expertos de Oak Ridge llegan a la conclusión de que las seis personas irradiadas recibieron dosis totales (de rayos gamma y neutrones) comprendidas entre un mínimo de 207 rad y un máximo de 436 rad (véase el cuadro). El rad es la unidad de dosis absorbida, o sea, la cantidad de energía transmitida por las partículas ionizantes a la