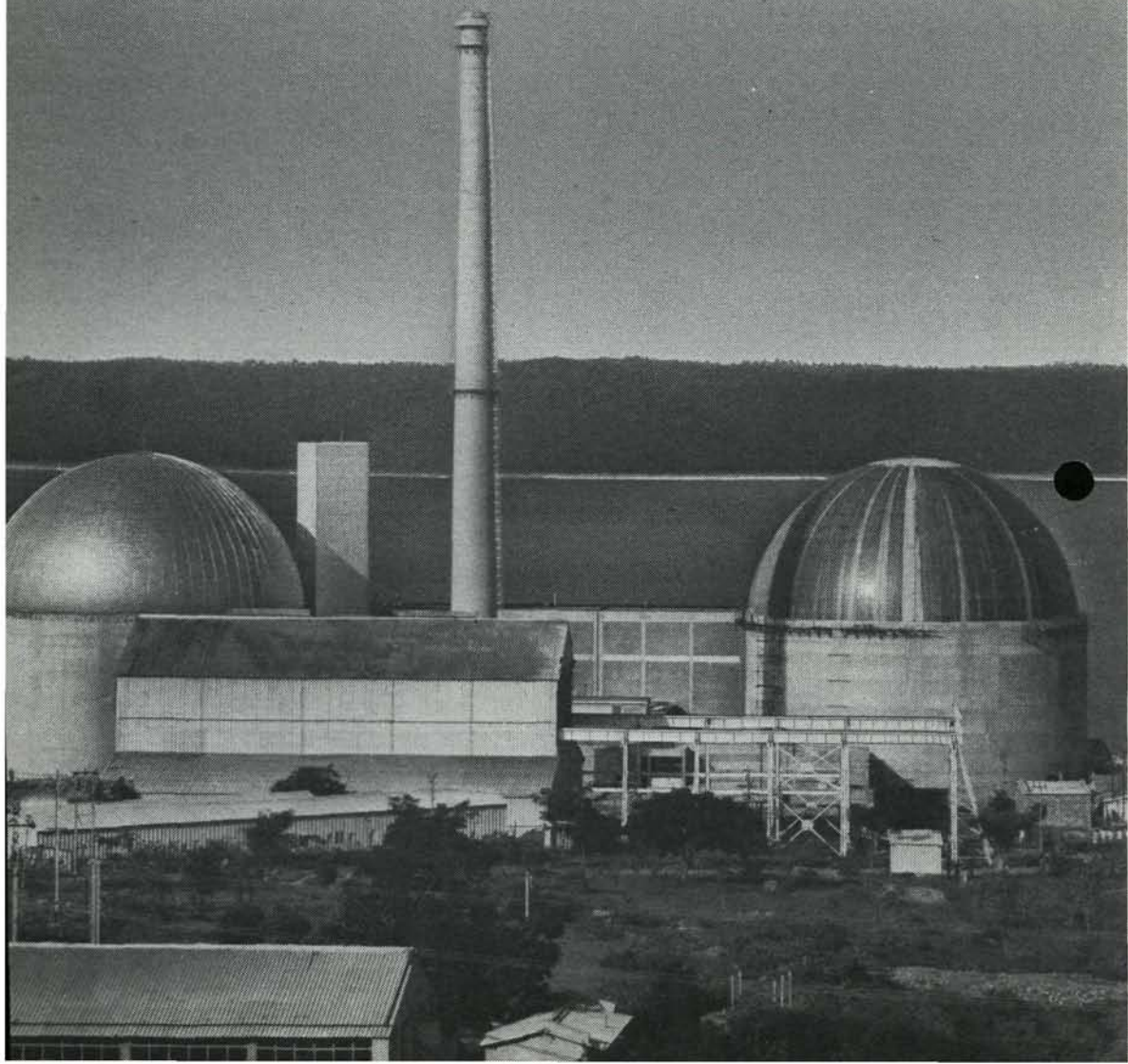


# INDIA



## CONQUISTAS DEL PASADO Y PROMESAS DEL FUTURO

por H. N. Sethna, Presidente de la Comisión de Energía Atómica de la India

Es archisabido que la energía es la clave del progreso humano. Esto lo ha confirmado ampliamente la experiencia de los últimos siglos, en particular desde el comienzo de la revolución industrial. El deseo de progreso ha acentuado inevitablemente la demanda de energía, lo que a su vez ha obligado al hombre a explorar y tratar de explotar todos los recursos disponibles. Durante siglos la energía procedía sobre todo de combustibles fósiles, pero el 2 de diciembre de 1942 surgió una fuente totalmente nueva, al conseguir el hombre el dominio del átomo. Hoy, con motivo del 30 aniversario de este acontecimiento histórico, conviene preguntarse hasta qué punto las promesas que encerraba la energía nuclear se han cumplido y cuáles son las perspectivas futuras.

Un hecho notable a propósito de esta primera conquista de la energía nuclear es que tuvo lugar tres años escasos después del descubrimiento del fenómeno básico de la fisión. En efecto, no se conoce ningún otro caso en que un descubrimiento fundamental haya recibido una aplicación práctica importante con tanta rapidez. La demostración de que se puede liberar la energía nuclear de manera controlada y la comprensión de las enormes posibilidades que dicha energía ofrece provocaron, naturalmente, un gran interés por ella en los años de la posguerra, cuando la humanidad puso manos a la tarea de reconstrucción y de reparación de los daños causados por la contienda.

Muchos países, tanto de regiones desarrolladas como en desarrollo, han iniciado programas de energía nucleoelectrónica. En casi todos la evolución de los programas ha sido afectada por muy diversos factores, económicos, políticos y sociales.

Sin embargo, la forma en que estos factores influyen tiende naturalmente a variar de un país a otro. Por ejemplo, entre los países adelantados, los que ejecutan programas de armas nucleares han experimentado con reactores de uranio enriquecido, gracias sobre todo a sus existencias de  $^{235}\text{U}$ , cuyo costo inicial de producción fue soportado en gran parte por los programas militares. En cambio, otros países, con modestos programas de armas nucleares o que no ejecutan tales programas, han basado sus planes en el empleo de uranio natural desde el principio. En algunos casos, los programas de energía nucleoelectrónica son resultado no tanto de una escasez inmediata de combustibles fósiles, sino esencialmente de la necesidad de estar a la vanguardia de la tecnología y de no perder eventuales mercados en el extranjero.

Ultimamente, el aumento del interés público por la ecología ha ejercido también una apreciable influencia. Los factores económicos, políticos y sociales han influido asimismo en los programas de los países en desarrollo, aunque las repercusiones de estos factores han sido muy diferentes que en el caso de los países en desarrollo.

El programa de energía atómica de la India data ahora de hace casi veinte años. Constituye una tentativa verdaderamente notable de promoción en gran escala de una tecnología avanzada en un país en desarrollo.

El primer problema consistió en convencer a los responsables de la planificación nacional de la utilidad e interés de un programa de energía nuclear para los planes de desarrollo del país. Hubo que tomar en consideración, por una parte, la escasez de recursos financieros, y, por otra, el relativo atraso industrial. Sin embargo, gracias al dinamismo del primer presidente de la Comisión de Energía Atómica de la India, Dr. Homi Bhabha, y a la buena disposición del Primer Ministro, Jawaharlal Nehru, pronto fue posible convencer a los administradores y a los políticos de que el programa de energía nuclear era necesario, e incluso económico.

Refiriéndose a la necesidad de la energía nuclear, Jawaharlal Nehru observó una vez: "si Vds. piensan en la India del futuro que tratan de crear y en la energía que necesitan ... llegarán a la conclusión de que es inevitable fomentar nuestro potencial atómico con fines pacíficos". Después de ganar el apoyo gubernamental, la Comisión de Energía Atómica estudió a fondo la formulación de una estrategia para el desarrollo de la energía nuclear. La producción de electricidad nuclear es uno de los principales objetivos del programa de energía atómica de la India.

Uno de los primeros objetivos fue establecer una firme infraestructura tecnológica para las diversas actividades que requiere el fomento de la energía atómica. En Trombay, cerca de Bombay, se creó un centro nacional de investigaciones, llamado entonces Instituto de Energía Atómica de Trombay, y denominado ahora Centro de Investigaciones Atómicas Bhabha (CIAB), en el que se inició una gran variedad de actividades de investigación y desarrollo, desde estudios básicos de física nuclear y del estado sólido hasta investigaciones sobre metalurgia, ingeniería, higiene radiofísica y medicina nuclear.

Teniendo en cuenta las particulares condiciones de la India, la contribución del Centro ha sido sustancial. Además de acumular la experiencia necesaria para efectuar trabajos de cálculo, proyecto y construcción de reactores de potencia, era esencial dotar a la industria de la capacidad precisa para fabricar todos los complicados componentes de estos reactores. Era preciso también establecer los procesos de fabricación y reelaboración del combustible nuclear y de producción de materiales combustibles y otros materiales especiales, tales como circaloy y agua pesada. La lucha por la autarquía en todos los aspectos de la tecnología nuclear es particularmente importante en un país en desarrollo, a fin de que la ejecución de un programa de electricidad nuclear relativamente ambicioso no ocasione una balanza de pagos excesivamente desfavorable.

Basándose en la experiencia adquirida en el CIAB es posible hoy día crear nuevos centros de producción dedicados a aspectos concretos de la tecnología nuclear. La Electronics Corporation of India (ECIL) y el Nuclear Fuel Complex (NFC) constituyen dos ejemplos. Otro ejemplo notable será el Reactor Research Center (RRC), situado en Kalpakkam, cerca de Madrás, que se ocupará de la tecnología de los reactores rápidos.

Aunque la India contaba con una infraestructura científica cuando se inició el programa de energía atómica, la ciencia organizada era algo nuevo en el país. Aparte de la cadena de laboratorios nacionales creados por el Consejo de Investigaciones Científicas e Industriales en los primeros años después de la independencia, el programa de energía atómica era el único que exigía un esfuerzo de organización científica en gran escala. Como el personal capacitado escaseaba, el CIAB puso en marcha un programa de formación para dar a los nuevos graduados universitarios una orientación que se adaptase al programa de energía atómica. Por tanto, no es sorprendente que la Escuela de capacitación en energía atómica insista en la importancia del propio esfuerzo y en la necesidad de trabajar en equipo para la adquisición y propagación de los conocimientos técnicos. Este programa de capacitación ha sido muy fructífero: la mayoría de los científicos e ingenieros participantes en el programa de energía atómica, ya sea en el CIAB o en las centrales en construcción en Rajasthan y Madrás, proceden de la Escuela de capacitación del CIAB.

Es lógico concluir que la capacitación ha de ser un elemento importante e indispensable de los programas de energía nuclear de los países en desarrollo. En cambio, en los países adelantados la mano de obra especializada abunda y, si acaso, sólo se requiere una pequeña reorientación para adaptarla a las actividades de energía atómica.

A medida que el Centro de Investigaciones de Trombay cobraba mayor importancia se hizo evidente que se conseguiría establecer las bases de la tecnología nuclear y adquirir los conocimientos y el personal necesarios para iniciar un programa de electricidad nuclear en gran

escala. En consecuencia, en 1960 la Comisión de Energía Atómica presentó a la Comisión Planificadora sus primeras propuestas concretas para la construcción de centrales nucleares en la India. La premisa fundamental era que la electricidad nuclear era esencial, incluso en aquella época, para abastecer en condiciones rentables de energía a extensas regiones del país, y que constituía la única fuente importante al que ésta podría recurrir a finales de siglo. Más concretamente, se estimó que incluso en 1960, la electricidad nuclear sería competitiva con la generada en centrales térmicas situadas a más de 800 km de las minas de carbón. Como estas últimas se encuentran sobre todo en Bihar, y como en el país más del 35% del territorio y del 30% de la población están fuera de este radio crítico, las centrales nucleares, incluso las de una sola unidad de 200 MW(e), constituyen una solución ventajosa para los problemas energéticos de las regiones muy alejadas de las minas de carbón.

En un memorando presentado por Bhabha a la Comisión Planificadora se decía: "Nuestra capacidad eléctrica nuclear estará principalmente constituida por centrales de uranio natural de doble finalidad: producción de electricidad, por una parte, y de plutonio, por otra. El plutonio es un combustible concentrado, que no puede adquirirse comercialmente en el extranjero, y su producción es esencial para que el país pueda montar centrales de reactores reproductores, alimentados con torio o uranio empobrecido, en la segunda etapa de su programa de electricidad nuclear. El costo de estas centrales será mucho más bajo que el actual, y todo parece indicar que la electricidad de las mismas podrá incluso competir con la producida en centrales térmicas tradicionales situadas cerca de las minas de carbón. La India no podrá sacar provecho alguno más adelante de tal situación si no construye ahora centrales que también produzcan plutonio."

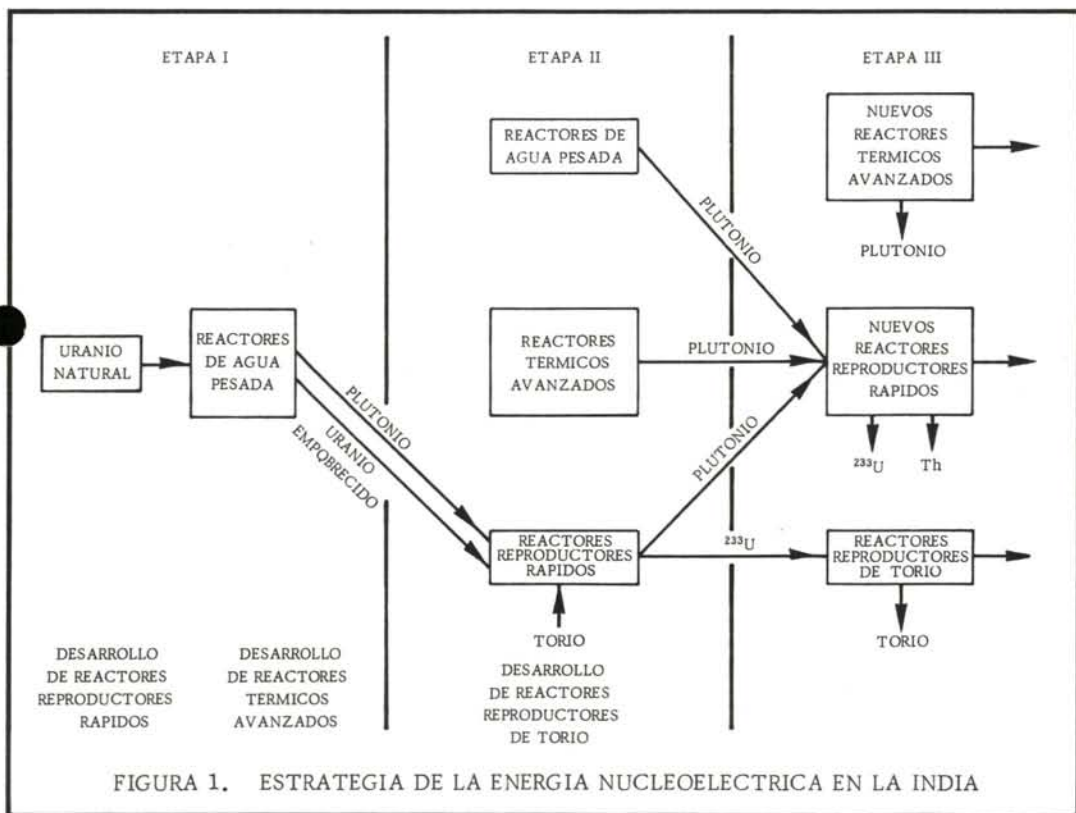
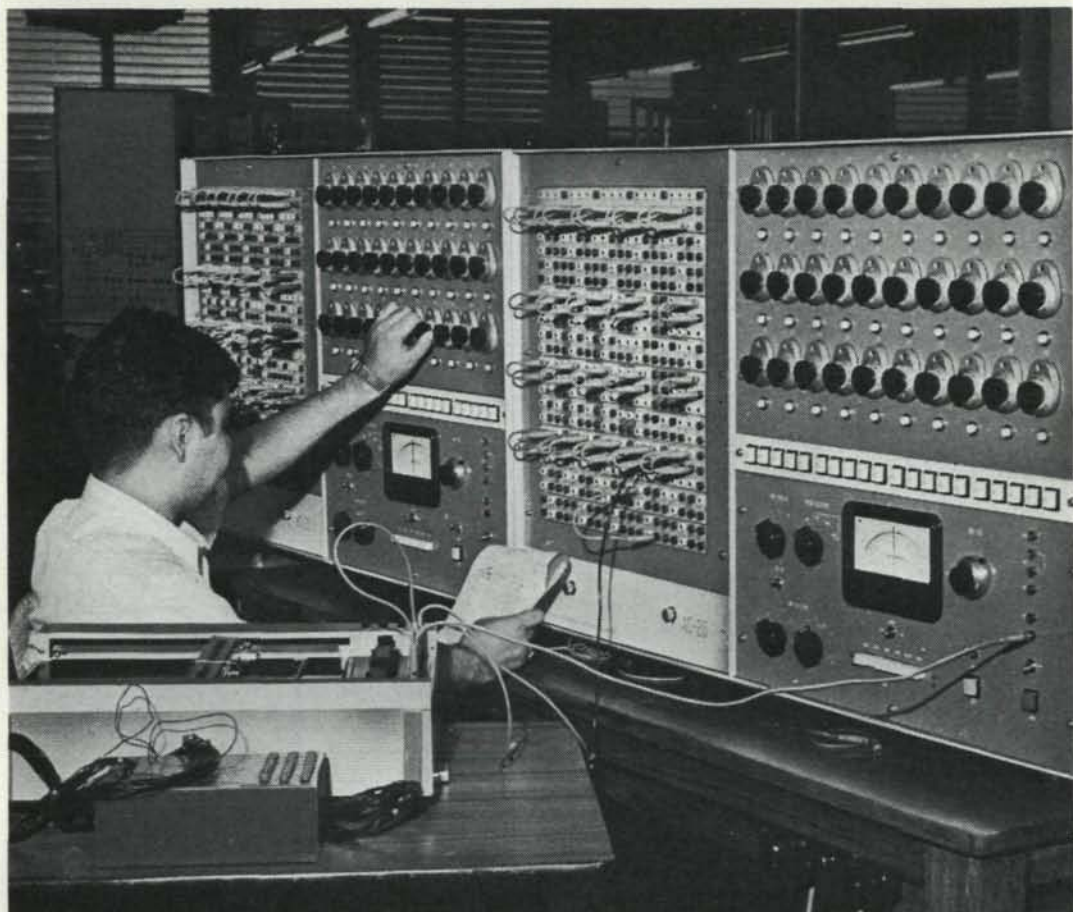


FIGURA 1. ESTRATEGIA DE LA ENERGIA NUCLEOELECTRICA EN LA INDIA



Computadora analógica fabricada por la Electronics Corporation of India Ltd. (Hyderabad).

El programa de electricidad nuclear de la India se desarrolla conforme a la estrategia que ilustra la figura 1, a saber, conseguir un aumento progresivo de la energía producida. En la primera etapa del programa se recurre a los reactores refrigerados y moderados por agua pesada y alimentados con uranio natural, del tipo CANDU-PHW. Las unidades que actualmente se construyen son de 200 MW(e), pero tan pronto como la capacidad de la industria y de la red eléctrica, así como los medios de transporte, lo permitan, se instalarán unidades de 500 a 600 MW(e).

Al mismo tiempo se han iniciado los trabajos de desarrollo de reactores reproductores rápidos refrigerados por sodio. En el Reactor Research Center de Kalpakkam se está instalando un reactor de ensayo reproductor rápido, de 40 MW. Se tiene el propósito de emprender trabajos de desarrollo sobre reactores térmicos avanzados (que constituirían la segunda generación de los reactores de agua pesada y serían más ventajosos que los reactores CANDU-PHW). Actualmente se realizan estudios para comprobar si es posible emplear agua ligera hirviendo como refrigerante en los reactores moderados por agua pesada.

En la segunda etapa del programa, se piensa construir reactores reproductores rápidos con combustible de plutonio, que habrá sido producido por los reactores de agua pesada. Sin em-

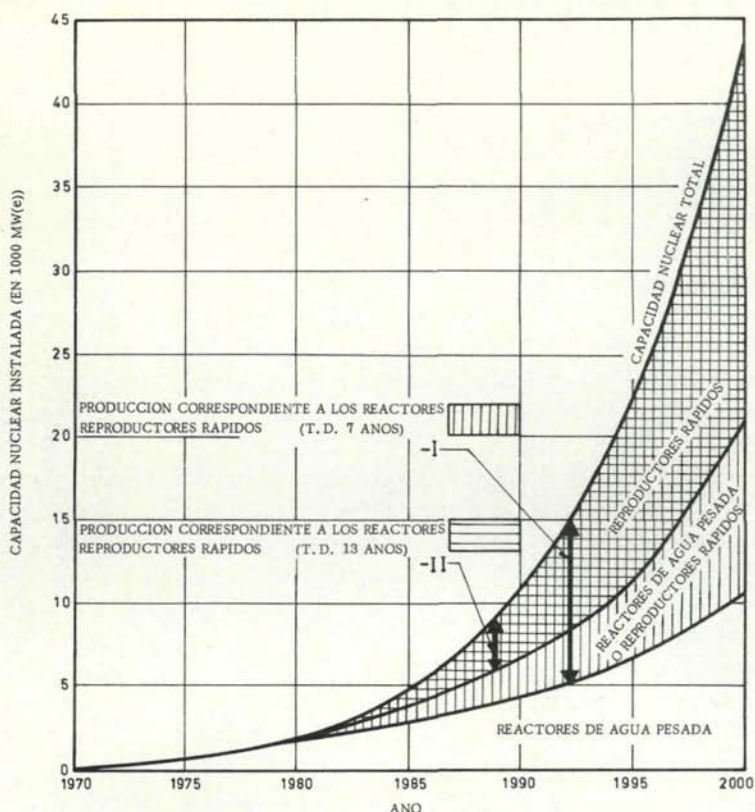


FIGURA 2: CRECIMIENTO DE LA CAPACIDAD NUCLEAR INSTALADA

Por lo tanto, como el tiempo de duplicación de la capacidad eléctrica nuclear será más corto que el tiempo de duplicación del combustible en el reactor rápido más favorable, será necesario seguir construyendo reactores de agua pesada, incluso después de que los reproductores rápidos hayan demostrado su rentabilidad. La capacidad nuclear instalada total, cuyo tiempo estimado de duplicación es de cinco años, se indica en la figura 2. La proporción de la capacidad total instalada que comprenderá a los reactores de agua pesada y a los reproductores rápidos dependerá del tipo de estos últimos y del rendimiento que alcancen. Suponiendo que para producir electricidad en escala industrial sólo existan los reactores de agua pesada y los reproductores rápidos alimentados con plutonio, la figura 2 indica la proporción de la capacidad de generación total correspondiente a unos y otros.

Para hacer este gráfico se han tenido en cuenta dos tipos de reactores reproductores rápidos: uno con una dotación específica de material fisionable de 2,5 kg por MW(e) y un tiempo de duplicación de siete años, y otro con una dotación específica de material fisionable de 3,0 kg por MW(e) y un tiempo de duplicación de 13 años; la velocidad de entrada en servicio de los reproductores rápidos dependerá de la cantidad de plutonio producido por los reactores de agua pesada y por los propios reactores rápidos. Cabe observar que a fines de siglo, con una

capacidad nuclear total instalada de 43 millones de kilovatios, del 50 al 75% de la producción corresponderá a los reactores reproductores rápidos, probablemente, y el resto a los de agua pesada.

Como los recursos de uranio natural de la India son limitados, tendría que ser mínima la cantidad total de electricidad producida por los reactores de agua pesada y máxima la generada por los reproductores rápidos. Por tanto, durante los próximos dos decenios, se harán grandes esfuerzos por conseguir reactores de este tipo eficaces y económicos.

Dada la limitación de los recursos de uranio natural, se efectúan estudios encaminados al empleo del torio en reactores reproductores rápidos y térmicos. Se tiene el propósito de entender en la segunda etapa del programa trabajos de desarrollo de reactores reproductores alimentados con torio, a fin de disponer de ellos en la tercera etapa. Por consiguiente, es muy posible que en esta tercera etapa haya cuatro tipos de reactores en servicio simultáneamente, a saber: reactores de agua pesada alimentados con uranio natural, reactores térmicos avanzados, reproductores rápidos alimentados con plutonio, y reproductores basados en el ciclo del torio.

Los recientes estudios efectuados acerca de las regiones de Saurashtra y Uttar Pradesh occidental de la India han puesto de relieve el futuro papel que la energía nucleoelectrica podría desempeñar en la creación de complejos agroindustriales en diferentes regiones del país. Las repercusiones que un abastecimiento barato de agua y energía tendría sobre el mundo rural son tan fascinantes que merecería la pena iniciar un programa para la realización de esos complejos agroindustriales.

Aparte de la producción de electricidad, las múltiples aplicaciones de los isótopos radiactivos y de las radiaciones constituyen un aspecto capital de la energía atómica, y cobrarán cada vez más importancia en lo sucesivo.

Los radioisótopos se utilizan ampliamente en la India, en la industria, la agricultura y la medicina, y su importancia en estas esferas aumentará mucho tanto cuantitativa como cualitativamente.

La actual proporción de diagnósticos efectuados con radionúclidos en la India es sólo de 0,05 por mil personas y año. Nuestros planes prevén la multiplicación de esta cifra por 20 en el actual decenio. Este ambicioso programa exigirá crear centros regionales de radiomedicina y laboratorios menores de radioisótopos en más de 100 hospitales clínicos del país.

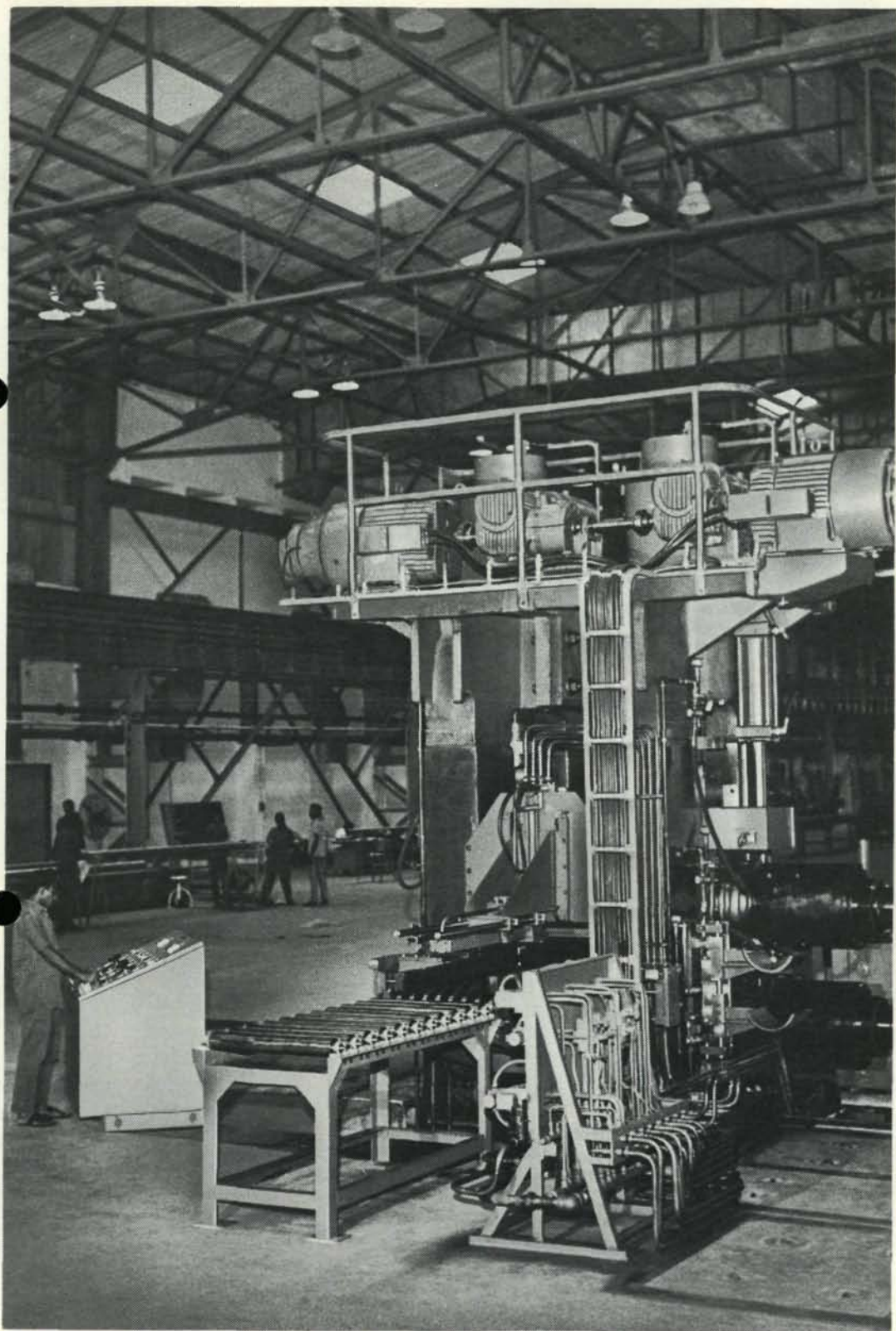
A fin de permitir el enorme aumento, en cantidad y variedad, de los productos radiofarmacéuticos que este programa requerirá, se han tomado varias medidas, entre ellas la construcción de un nuevo reactor de flujo elevado, con un gran volumen de irradiación, y de un ciclotrón de energía variable, de 60 MeV. Se ampliarán igualmente las instalaciones de fabricación de productos finales.

Gracias a nuestros nuevos reactores de potencia se dispondrá de grandes cantidades de  $^{60}\text{Co}$  de elevada actividad específica. Así podrán ampliarse los servicios de teleterapia en el país. Una de las principales medidas complementarias es el programa de fabricación nacional de fuentes de teleterapia que ejecuta la industria privada, en colaboración con el CIAB.

Se están generalizando rápidamente las aplicaciones industriales bien conocidas tales como las mediciones nucleoelectricas, la radiografía isotópica industrial y los estudios con trazadores radiactivos.

Sin embargo, se prestará más atención en lo sucesivo a las fuentes de electricidad isotópica y sus posibles aplicaciones en lugares remotos e inaccesibles, por ejemplo, en electrogeneradores de satélites y estimuladores cardíacos. En breve se abordará el desarrollo de fuentes radiactivas adecuadas y de sistemas de conversión para estos instrumentos.

El  $^{60}\text{Co}$ , por sus múltiples aplicaciones, fácil fabricación, largo período y bajo costo, es la más importante de las fuentes radiactivas. Con la entrada en servicio de los nuevos reactores de potencia, en los próximos cinco años llegará a disponerse progresivamente de 3 MCI



Tren de laminación del Nuclear Fuel Complex (Hyderabad).



anuales de  $^{60}\text{Co}$ . Está casi terminada la infraestructura precisa para la manipulación y tratamiento de tan grandes cantidades y para la fabricación de fuentes. La abundancia en el país de  $^{60}\text{Co}$  dará ímpetu dentro de este decenio a nuestro programa de instalación de grandes irradiadores para la esterilización de productos médicos, conservación de alimentos, fabricación de compuestos madera-plástico, síntesis química y procesos de modificación de plásticos. Otros usos prometedores del  $^{60}\text{Co}$  en un futuro no demasiado lejano son el tratamiento en gran escala de aguas residuales y la fabricación de compuestos hormigón-polímeros.

A fines de 1973 quedará concluida la primera planta de esta serie para la esterilización de productos médicos. Además de esterilizar estos productos, necesidad que se hace sentir desde hace mucho tiempo, la citada planta acelerará el crecimiento de la industria de productos médicos no reutilizables y de otras industrias auxiliares del país. Dentro de los próximos 20 años se espera que habrá plantas similares en cada una de las principales regiones de la India a fin de satisfacer la demanda nacional.

En el futuro próximo debería cobrar gran incremento la radioconservación de los alimentos en vista de sus indudables ventajas. El programa de la India prevé la construcción de grandes plantas de demostración en este decenio para la conservación de productos tales como cebollas, patatas, cereales, fruta y alimentos de origen marino. A continuación se instalarán en el país irradiadores de alimentos en escala industrial.

Las aplicaciones de los radioisótopos revisten gran importancia para los países en desarrollo de economía predominantemente agrícola. Es de gran utilidad práctica la evaluación, con ayuda de agua tritiada, de los recursos hídricos subterráneos y de la velocidad de su renovación en regiones tales como la llanura del Ganges, en la que se proyectan obras de irrigación por bombeo en gran escala. La India ha sido últimamente testigo de las extraordinarias consecuencias económicas de nuevas variedades de semillas. Es de gran trascendencia el empleo de las radiaciones para aumentar los medios de trabajo de los fitotécnicos. De manera análoga, el estudio de la captación de fertilizantes y de agua por las plantas utilizando productos químicos marcados puede tener como resultado la adopción de procedimientos más eficaces de empleo de ambos.

Las aplicaciones de los isótopos y las radiaciones están pasando a ser una actividad bien establecida en la India. De todas formas, los grandes programas antes citados harán que esta actividad experimente un crecimiento sin precedentes y exigirán vastos recursos materiales y humanos, a la vez que una pronunciada orientación comercial.

Teniendo en cuenta la importancia del programa nuclear de la India, se está acelerando el ritmo de investigación y desarrollo de la tecnología nuclear. Testimonio de ello es la construcción en Trombay de un reactor de investigación de 100 MW y la rápida expansión del programa del Reactor Research Center.

Según palabras de la Primer Ministro, Sra. Indira Gandhi, «a los que hablan de una economía basada en el estiercol vacuno que aspira a servirse de la energía nuclear, el Dr. Bhabha ha explicado de manera convincente los beneficios tecnológicos derivados de la energía atómica y las repercusiones que ésta tiene en otras esferas económicas y científicas. En los últimos 20 años hemos estado montando nuestra infraestructura . . . Si la creación de ésta aporta una tecnología superior, se acelerará el progreso futuro. Desde este punto de vista hay que valorar las actividades del Departamento de Energía Atómica».

# PROXIMAS CONFERENCIAS

Fechas	Tema	Lugar
22 a 26 de enero	Simposio sobre control e instrumentación de las centrales nucleares	Praga
5 a 9 de febrero	Simposio sobre principios y normas de seguridad de los reactores	Jülich (Rep. Fed. de Alemania)
12 a 16 de marzo	Simposio sobre el empleo de datos nucleares en la ciencia y la tecnología	París
26 a 30 de marzo	Simposio sobre novedades en la esfera de los radiofármacos y otros compuestos marcados	Copenhague
14 a 18 de mayo	Simposio OIEA/ AEN/OMS sobre el comportamiento ambiental de los radionúclidos liberados por la industria nuclear	Aix-en-Provence (Francia)