

# La enseñanza técnica y científica para la energía nucleoelectrica

*Existen métodos de cooperación para alcanzar los niveles de excelencia necesarios*

por Frances Mautner-Markhof

La experiencia ha demostrado que para iniciar con éxito un programa nucleoelectrico es decisivo, entre otras cosas, disponer de suficiente personal con los títulos académicos y la experiencia necesarios. De ahí que antes de introducir la energía nucleoelectrica deban evaluarse minuciosamente las capacidades pertinentes de la infraestructura industrial y la de formación y capacitación del país de que se trate. Esto exige, de ser necesario, el mejoramiento o la creación de capacidades nacionales de formación y capacitación en las esferas de la ciencia y la técnica con objeto de formar el personal cualificado que ha de cumplir las tareas y funciones en un programa nucleoelectrico.

Dado que los sistemas de educación varían de un país a otro, es preciso ser flexible al elaborar los programas educacionales. Los programas de estudio (como los concebidos para la guía del OIEA titulada *Guidebook on engineering and science education for nuclear power*) son un índice del nivel y el contenido que proporcionarían los títulos académicos necesarios a los ingenieros y científicos que han de participar en un programa nucleoelectrico, y, por tanto, podrían tomarse como punto de partida para preparar un programa de educación apropiado. Sin embargo, resulta difícil definir todas las medidas y los arreglos necesarios para la incorporación de la enseñanza de la tecnología nuclear en un sistema educativo ya existente.

Las habilidades que tiene que tener el personal no son en modo alguno comparables: *No pueden hacerse concesiones en materia de seguridad y fiabilidad de la energía nucleoelectrica*. Por consiguiente, aunque existen distintas vías para alcanzar el nivel de cualificación del personal requerido —como demuestra la variada experiencia tanto de países desarrollados como en desarrollo— *todos los países que tengan o inicien programas nucleoelectricos deben alcanzar y mantener un nivel equivalente*.

Al elaborar un programa de formación técnica y científica para la energía nucleoelectrica, es preciso tener en cuenta aquellas actividades del programa nucleoelectrico en las que el gobierno o las organizaciones nacionales deben tener la responsabilidad máxima y que, por tanto,

se consideran vitales para la participación nacional. (Véase el cuadro adjunto.) Dichas actividades deben ser ejecutadas, en lo fundamental, por personal nacional, independientemente de los arreglos contractuales del proyecto nucleoelectrico.

Todo país que prevea la puesta en marcha de un programa nucleoelectrico debe asegurar la mayor parte de la formación y la capacitación fundamentales y al menos parte de las especializadas que sean necesarias para lograr la cualificación del personal encargado de cumplir las actividades esenciales del programa nucleoelectrico, incluidas las que se requieren para la transferencia de tecnología y la adaptación que permita la participación nacional. La infraestructura de formación y capacitación para la energía nucleoelectrica consiste fundamentalmente en universidades, centros de capacitación en cuestiones nucleares, centros de investigaciones nucleares, y organizaciones de la industria y el gobierno.

Es importante observar que los costos de la formación y la capacitación necesarias para la cualificación del personal representan una pequeña porción del costo de un proyecto nucleoelectrico. La experiencia también ha demostrado que los costos de la formación son reducidos si se comparan con los gastos que provoca la parada, aunque sea breve, de una central nucleoelectrica a causa de la falta de personal debidamente cualificado. Un buen sistema de formación y capacitación no sólo es una necesidad para la puesta en marcha de un programa nucleoelectrico, sino también una inversión acertada para su futuro desarrollo y para la explotación óptima de las centrales nucleoelectricas. Por tal motivo, la formación y la capacitación deben ser parte integrante de la planificación nacional de la energía nucleoelectrica a largo plazo.

## Necesidades específicas de los países en desarrollo

La insuficiente cantidad de personal cualificado en muchos países en desarrollo es una de las principales limitaciones del desarrollo tecnológico en general y del desarrollo de la energía nucleoelectrica en particular.

Los problemas que enfrentan algunos países en desarrollo y otros industrializados respecto de las necesidades de formación y capacitación para la energía

La Sra. Mautner-Markhof es funcionaria de la Sección de Ingeniería de Reactores de la División de Energía Nucleoelectrica.

## Formación y capacitación en la esfera nuclear

### Actividad de los programas nucleoelectricos

Actividad	Se considera indispensable la participación nacional*	Complejidad técnica**	Necesidades de personal**
1. Planificación y coordinación del programa nucleoelectrico	sí	3	1
2. Planificación de la red de energía	sí	2	1
3. Creación del marco jurídico e institucional	sí	1-2	1
4. Acuerdos y arreglos internacionales	sí	1-2	1
5. Planificación y coordinación de la participación nacional	sí	2	1
6. Planificación y puesta en práctica de la formación de personal	sí	2-3	2-3
7. Estudios de viabilidad	sí	3	2
8. Evaluación del emplazamiento	sí	2-3	1-2
9. Preparación de especificaciones para las ofertas	sí	2-3	1-2
10. Evaluación de las ofertas	sí	3	2
11. Contratación	sí	3	1
12. Gestión del proyecto (empresa de servicio público)	sí	3	1-2
13. Gestión del proyecto (contratista principal)	no	3	2
14. Diseño conceptual de la central	no	3-4	2
15. Aspectos técnicos del diseño básico	no	3-4	3
16. Estudios técnicos detallados del diseño	no	2-3	4
17. Preparación y examen de las especificaciones del equipo y la central	no	3-4	2
18. Establecimiento de la política de garantía de la calidad	sí	2-3	1
19. Ejecución del control de calidad y de la garantía de la calidad	no	2-3	2
20. Compra	no	1-2	1-2
21. Informe sobre análisis de la seguridad	no	3	2
22. Planificación para casos de emergencia	sí	2	1
23. Información pública y relaciones públicas	sí	1-2	1
24. Salvaguardias y protección física	sí	1	2
25. Fabricación del equipo	no	1-4	1-4
26. Gestión de la construcción	no	2-3	2
27. Preparación del emplazamiento	sí	1	2-3
28. Construcción de las edificaciones y estructuras de la central	sí	2	4
29. Instalación del equipo y los sistemas de la central	sí	2-3	3
30. Comprobación de los sistemas y componentes de la central	no	2-3	2
31. Ensayo de criticidad y prueba de aceptación de la central	no	3-4	1-2
32. Explotación y mantenimiento de la central	sí	3-4	3
33. Protección radiológica y vigilancia ambiental	sí	1-2	1
34. Compra del combustible	sí	2	1
35. Exploración, extracción y tratamiento del uranio	no	1-2	3-4
36. Conversión	no	1-2	1-2
37. Enriquecimiento	no	4	3
38. Fabricación del combustible	no	3	2
39. Gestión y almacenamiento del combustible en la central nucleoelectrica	sí	2-3	1
40. Transporte y almacenamiento del combustible en el país y fuera del emplazamiento	sí	1-2	1
41. Reelaboración del combustible irradiado	no	4	3
42. Gestión de desechos	sí	2-3	2
43. Concesión de licencias y reglamentación nucleares	sí	3-4	2-3
44. Investigación y desarrollo de la energía nucleoelectrica	no	3-4	3

\* Las actividades que se consideran indispensables varían un tanto de acuerdo con la política y la capacidad de participación nacionales, así como con los arreglos contractuales relativos al (los) proyecto(s) de energía nucleoelectrica.

\*\* Número índice: 1 = poco; 2 = mediano; 3 = elevado; 4 = muy elevado.

nucleoelectrica están asociados fundamentalmente a las limitaciones de recursos y capacidades que tienen las universidades, las instituciones de capacitación o las industrias para poder brindar la formación y capacitación con el alcance y la calidad requeridos. Cabe señalar el caso de las escuelas de enseñanza secundaria de los países en desarrollo, que por lo general no preparan adecuadamente a los alumnos al no darles los conocimientos prácticos y teóricos necesarios para hacer estudios universitarios del nivel requerido en la ingeniería y la ciencia. Desde el primer momento hay que dedicar la atención y los recursos apropiados a 1) la formación y

cualificación de los profesores, y 2) la cooperación entre las universidades y la industria con objeto de garantizar en esta última la experiencia práctica y la capacitación en el trabajo. Aquí se incluyen los aspectos de organización, contractuales y administrativos en la dirección de grandes proyectos, ya que las universidades no tienen capacidad suficiente para ello.

La retención en el país de origen de profesionales técnicos cualificados para que participen en el programa nucleoelectrico, y especialmente de los que han recibido formación o capacitación, o han acumulado experiencia en el exterior, ha sido un grave problema motivado por

los factores diferenciales en las condiciones de empleo, y el desfase entre los calendarios de los programas de formación del personal y los de los programas de desarrollo de la energía nucleoelectrónica, lo que da lugar a que el personal esté listo cuando las tareas no lo están o viceversa. En consecuencia, es de vital importancia que exista una dirección de personal efectiva y eficiente que se ocupe de la correcta y oportuna contratación del personal, así como de su adecuada formación y capacitación a fin de que cumpla los requisitos necesarios para participar en un programa nucleoelectrónico. Por lo general, se ha considerado conveniente contratar y capacitar más personal del necesario para cubrir las vacantes existentes, compensar el índice de deserción durante la capacitación, y satisfacer las necesidades de sustitución por abandono o migración del personal cualificado.

### Capacitación y experiencia prácticas

*El trabajo y la capacitación prácticos* en todas las disciplinas pertinentes de la enseñanza convencional y de la esfera nuclear a todos los niveles constituyen un factor decisivo que siempre hay que recalcar. Es indispensable para los alumnos y profesores del caso, especialmente para los que participan en el proceso de formación técnica. Si bien la mayor parte de este componente práctico de la formación debe proporcionarse en el propio país, una parte puede obtenerse en el extranjero en industrias, centros de investigación, instituciones de enseñanza superior y organismos oficiales en virtud de acuerdos bilaterales o contratos de suministros.

Por consiguiente, la formación técnica y científica debe proporcionar a los alumnos la oportunidad de realizar trabajo práctico en la industria o en empresas de servicios públicos antes de graduarse en la universidad (o el instituto técnico superior). Los países en desarrollo en particular deben tratar de aumentar y mejorar la interacción de las universidades e industrias, y evitar que la formación técnica se aleje demasiado de las prácticas y necesidades actuales. Las diversas tareas que plantea un programa nucleoelectrónico necesitan un determinado número de individuos que no sólo tengan experiencia práctica en ingeniería, sino también en esferas como evaluación de la tecnología, economía, planificación de la energía, administración y cuestiones relativas a la aceptación del público.

### Formación orientada a la energía nuclear

Las necesidades de formación de mayor envergadura requieren programas de estudios superiores orientados a la esfera de la energía nuclear en una universidad (para obtener el título equivalente a licenciado en ciencias) y programas de estudios postuniversitarios hasta el nivel de maestría (o Diplom Ingenieur). Los programas académicos de estudios postuniversitarios superiores al nivel de maestría son necesarios para garantizar que exista al menos un número reducido de ingenieros y científicos de elevada formación académica (es decir, con el doctorado o un nivel equivalente) y de abundante experiencia, a fin de garantizar personal cualificado para, entre otras cosas, la docencia universitaria, la investigación y el desarrollo, y determinadas funciones de reglamentación. La mayoría de los países no tienen organizado ese tipo de programas de formación orientados a la esfera

nuclear en el momento de poner en marcha sus programas nucleoelectrónicos.

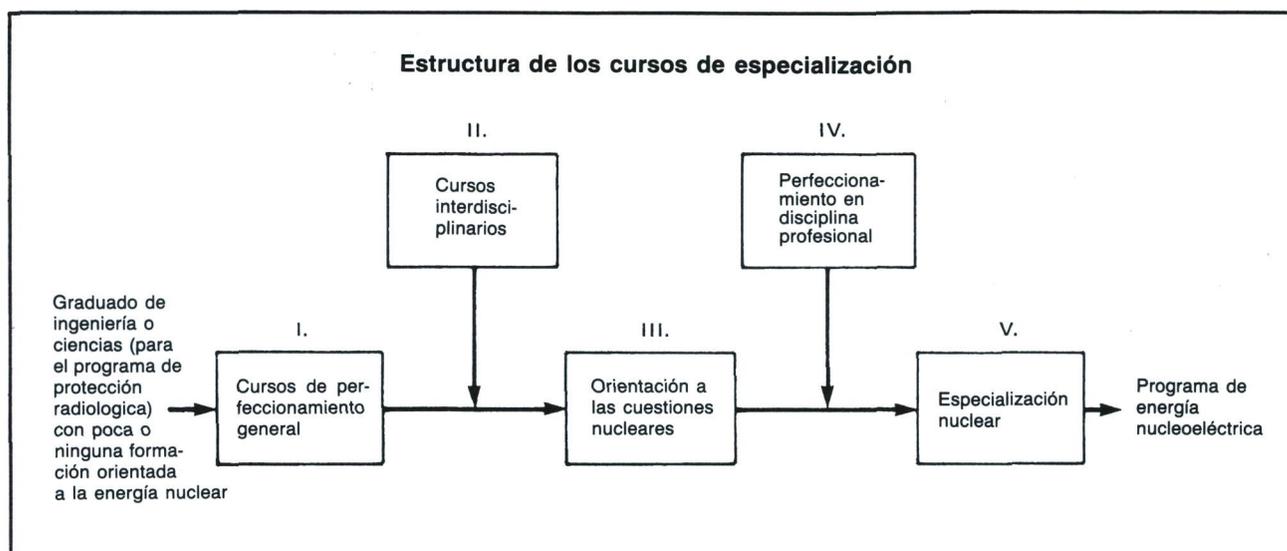
Por lo general, los países consideran necesario incorporar cursos de especialización postuniversitarios que complementen la formación y capacitación de graduados cuya formación académica no se relaciona con la energía nuclear, y que (en algunos casos) tienen experiencia profesional pero no en la esfera de la energía nuclear, y habrán de trabajar en el programa nucleoelectrónico. Con estos cursos de especialización no se pretende eliminar la necesidad a más largo plazo de la formación técnica y científica universitaria y postuniversitaria orientada a la energía nuclear. No obstante, como mecanismo para la obtención de títulos académicos superiores, o de conocimientos teóricos y prácticos nuevos o actualizados en cuestiones nucleares, los cursos de especialización desempeñan un importante papel en el sistema nacional de formación y capacitación. (Véase la figura adjunta.)

Normalmente, al comenzar el programa nucleoelectrónico se introduce un programa de especialización para la formación técnica y científica en materia de energía nucleoelectrónica, de manera que aquellas personas de la industria y los organismos del estado que tengan preparación en las disciplinas clásicas de la ingeniería, reciban la base teórica y práctica necesaria en ingeniería nuclear. A medida que avanza el programa nucleoelectrónico y aumentan las necesidades de personal, la formación para la energía nucleoelectrónica tiende a incorporarse a la infraestructura educacional existente. Sin embargo, incluso cuando esta formación se convierta en la modalidad principal que se ofrece para la energía nucleoelectrónica, los cursos de especialización siguen siendo necesarios para, por ejemplo, dar continuidad a la formación, actualizar a los especialistas (en cuanto a nuevas tecnologías y reglamentación), mejorar la formación en materias especializadas o en cuestiones nucleares, y capacitar a determinado personal como los inspectores de turno, los funcionarios de protección radiológica y otros especialistas.

La infraestructura de formación y capacitación y la industrial varían de un país a otro, al igual que el carácter de los programas nucleoelectrónicos y sus objetivos, tales como el grado de participación nacional. Por consiguiente, resulta difícil recomendar planes de estudio detallados para los programas de especialización en cuestiones nucleares, aunque se han propuesto modelos de planes de estudio.\* De modo que los cursos de especialización deben proporcionar conocimientos teóricos y prácticos sobre cuestiones nucleares en general que constituyan la base indispensable para este tipo de capacitación especializada.

El programa de especialización debe distinguirse del programa de estudios postuniversitarios convencional, ya que está mucho más orientado hacia las exigencias actuales de los programas nucleoelectrónicos y los elementos de ingeniería tradicional que son de un elevado nivel y se abordan con mayor profundidad que en los programas de estudios universitarios que se ofrecen en el país. Además, brinda formación y trabajo práctico en determinadas materias nucleares, tales como efectos de las radiaciones y tecnología de reactores. Es muy conve-

\* *Guidebook on engineering and science education for nuclear power*, OIEA, Viena (1986) págs. 17 a 40.



niente hacer que algunas universidades participen en este tipo de programas, ya que se sentirían más alentadas a elevar el nivel de sus planes de estudio, facultades y medios destinados a los programas universitarios y superiores, los cuales tienen que responder a las normas, más elevadas, correspondientes al programa nucleoelectrico y al programa de participación nacional, tanto en el ámbito convencional como en el de la energía nuclear.

Es de singular importancia que reciban ese tipo de capacitación los futuros profesores de los cursos locales de especialización. Es primordial disponer de profesores bien informados y de experiencia en esos cursos, y se recomienda prestar especial atención a todos los aspectos relacionados con su formación y capacitación incluida la práctica pedagógica eficaz.

#### Continuación de la formación para la energía nucleoelectrica

Para garantizar que el personal técnico profesional pueda adquirir, mantener, perfeccionar y actualizar los conocimientos y las técnicas prácticas que les permitan satisfacer los requisitos de formación y capacitación necesarios para poder cumplir las tareas o funciones de un programa nucleoelectrico, será preciso contar con posibilidades de amplio alcance y flexibilidad para continuar la formación, especialmente en la esfera de la ingeniería. Continuar la formación debe ser una posibilidad y un requisito para los profesionales y profesores en ejercicio, y debe ser un componente oficial del programa de formación de personal del país y de su infraestructura de formación y capacitación. Debe formar parte y al mismo tiempo beneficiarse del proceso de cooperación entre las universidades, la industria, las empresas eléctricas, los centros de capacitación e investigaciones nucleares y otras organizaciones pertinentes. Las sociedades de profesionales podrían ser muy útiles en el fomento de determinadas formas de continuación de la formación. Puede que también sea necesaria la formación en el extranjero, particularmente en las esferas que presenten los más recientes adelantos tecnológicos y una elevada complejidad técnica. La cooperación internacional también será

muy provechosa para realizar intercambios de profesores y materiales docentes, y posiblemente para establecer centros regionales que prolonguen la formación.

Para garantizar la calidad requerida en la formación y la capacitación es necesario, ante todo, desarrollar, mantener y poner en práctica criterios sólidos con miras al examen, la evaluación y la convalidación en el extranjero de programas universitarios que conduzcan a la obtención de títulos de ingeniería y ciencias orientados a la energía nuclear, para establecer y mantener niveles de cualificación mínimos. Asimismo, es importante lograr la convalidación de los programas de especialización nuclear y de otros tipos de programas de continuación de la formación que no suponen la concesión de un título y que son ofrecidos por universidades y otras instituciones tales como empresas de servicios públicos, industrias, laboratorios nacionales, y centros de capacitación en energía nuclear.

#### Función del gobierno

Hay ciertas actividades en un programa nucleoelectrico cuya plena responsabilidad debe recaer en los organismos nacionales y cuya ejecución debe estar, en lo fundamental, a cargo de personal nacional, independientemente de los arreglos contractuales. Esas actividades se consideran "indispensables" para la participación nacional. En los países que actualmente inician un programa nucleoelectrico, o que ya lo tienen en ejecución, el gobierno es el principal responsable de la planificación, la coordinación y el control del programa nucleoelectrico y de la participación nacional en él, así como del programa general de formación de personal. El gobierno puede delegar en determinadas organizaciones bajo su control el cumplimiento de muchas de las tareas y funciones, pero debe conservar la responsabilidad máxima y la definición de la política y las estrategias, así como la adopción de las decisiones definitivas.

Por regla general, los gobiernos conciertan, por conducto de las organizaciones responsables, acuerdos bilaterales y multilaterales de cooperación en la esfera de la energía nuclear y para el suministro y la capacitación

nucleares. En los acuerdos bilaterales figuran arreglos para el intercambio científico entre autoridades indicadas con el propósito de desarrollar infraestructuras, incluidos los programas de formación de personal y las funciones de reglamentación. Normalmente, la comisión o autoridad nacional de la energía nuclear (cuya naturaleza depende de la política y el programa nacionales de energía nuclear) ha sido la principal infraestructura y organización gubernamental encargada de atender las responsabilidades y cumplir las funciones de planificación y ejecución de los programas nucleoelectricos y de formación de personal.

A fin de aumentar la capacidad de formación técnica y científica para la energía nucleoelectrica, los gobiernos podrían adoptar, entre otras, las medidas siguientes:

- Establecer los niveles de convalidación necesarios para los programas académicos y no académicos y para el personal docente, así como los niveles adecuados de cualificación o concesión de licencias o ambas cosas para los profesionales de ingeniería y otras disciplinas;
- Aumentar, mediante las normas apropiadas, el apoyo y los incentivos, la calidad de los cursos, el personal de investigación y el personal docente universitario en los programas técnicos y científicos pertinentes. Ello puede lograrse por medio del apoyo gubernamental (e industrial) en forma de becas, estipendios, medios de capacitación, y contratos de investigación, así como con la apropiada financiación de las mejoras necesarias en los planes de estudio, los medios de laboratorio y computadora, y en las actividades de investigación y desarrollo. Es posible que haya que mejorar las condiciones de trabajo del personal docente y de investigación (incluso mediante aumentos de salario) para evitar que se desvíe hacia la industria;
- Aumentar, mediante exámenes, requisitos de cualificación, e incentivos apropiados, la cantidad y la calidad de los alumnos que deciden estudiar y que concluyen los programas técnicos y científicos relacionados con la energía nuclear en los niveles universitario y superior;
- Reforzar y aprovechar cada vez más el papel que desempeña la industria al proporcionar el componente de la formación relacionada con el trabajo y la capacitación prácticos necesarios (así como la experiencia requerida), lo cual puede lograrse, entre otras cosas, por vía legislativa y mediante incentivos financieros y contratos, con

el propósito de incrementar las oportunidades de formación, capacitación y experiencia prácticas;

- Investigar las posibilidades de establecer y aprovechar la cooperación técnica entre los países y las ventajas que ella reportaría.

#### **Infraestructura y capacidades en materia de formación**

El OIEA brinda asistencia a sus Estados Miembros de diversas maneras en el desarrollo de sus infraestructuras y capacidades de formación técnica y científica para la energía nucleoelectrica. Entre los tipos de asistencia que el OIEA ofrece a sus Estados Miembros se encuentran:

- Suministro de información sobre el establecimiento o mejoramiento de programas de formación técnica y científica académicos y no académicos para la energía nucleoelectrica (sobre la base de los planes de estudio recomendados en la guía del Organismo titulada *Guidebook on engineering and science education for nuclear power*).
- Servicios de expertos para la creación o el mejoramiento de laboratorios y otras instalaciones docentes; profesores cualificados para organizar y ofrecer cursos técnicos y científicos orientados a la energía nuclear; misiones de expertos para evaluar las necesidades de los países en materia de formación y capacitación orientadas a la energía nuclear; y becas para estudiantes, becas que pueden emplearse también para la capacitación de profesores.
- Evaluación de la capacidad y los intereses de los Estados Miembros y de sus instituciones y organizaciones con vista a la cooperación técnica internacional especialmente entre los países en desarrollo, en materia de formación técnica y científica, así como de su viabilidad y provecho. Aquí se incluiría la cooperación entre el OIEA y el Estado Miembro para evaluar, y si es necesario ayudar a mejorar, las capacidades de instituciones específicas que cuentan con determinada competencia en alguna esfera importante de la formación técnica y científica orientada a la energía nuclear.
- Preparación y ejecución de cursos de especialización en la esfera nuclear (por ejemplo, sobre protección radiológica) en diversos Estados Miembros.

