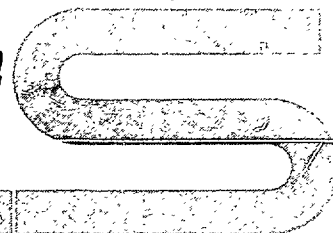


**CONFERENCIA INTERNACIONAL
SOBRE LA ENERGIA NUCLEOELECTRICA
Y SU CICLO DEL COMBUSTIBLE**
SALZBURGO (AUSTRIA) • 2 A 13 DE MAYO DE 1977



ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

IAEA-CN-36/208

PROGRAMAS DE CAPACITACION EN MATERIA DE ENERGIA NUCLEOELECTRICA EN ESPAÑA

A. Tanarro, L. Izquierdo
Junta de Energía Nuclear
Avda. Complutense, 22. Madrid-3. España

1. INTRODUCCION

Los programas de capacitación de personal para el desarrollo de las aplicaciones pacíficas de la energía nuclear vienen condicionados en España, al igual que en otros países, por:

El programa nacional de instalación y explotación de centrales nucleoelectricas.

La participación de la industria y la tecnología del país en dicho programa.

La utilización de radisotopos y generadores de radiaciones ionizantes.

En el presente trabajo se examinan estas circunstancias para el caso de España, se analizan las necesidades humanas que se plantean y se describen las acciones tomadas para cubrir dichas necesidades.

2. INSTALACION DE CENTRALES NUCLEOELECTRICAS

El plan energético nacional, proyectado para el período 1975-1985 y aprobado en consejo de ministros el 24 de Enero de 1975 preve incrementar la potencia nuclear instalada en 21.000 MWe durante el plazo indicado.

En el desarrollo del citado plan, y de acuerdo con las estimaciones de las empresas eléctricas públicas y privadas, se considera como muy probable que todas las centrales nucleares a instalar sean del tipo de agua ligera y de potencia, por grupo, muy próxima a los 1000 MWe. Asimismo se estima

que el ritmo de puesta en marcha de dichos grupos será el siguiente:

	<u>1977</u>	<u>78</u>	<u>79</u>	<u>80</u>	<u>81</u>	<u>82</u>	<u>83</u>	<u>84</u>	<u>85</u>
PWR	1	2	1	1	1	3	2	1	1
BWR	-	1	-	-	2	1	1	2	1

El plan deberá ser revisado cada dos años a fin de ajustarlo lo mejor posible a diversos factores, principalmente a la evolución real de la demanda de energía eléctrica y de los precios de los productos energéticos. Así se considera ya posible que parte de los objetivos a alcanzar en 1985 sean diferidos a 1987 (1). No obstante, las previsiones del plan se han tomado como base para evaluar, siquiera sea aproximadamente, las necesidades correspondientes de personal capacitado en los próximos años.

El programa nuclear español se propone impulsar todo lo posible la participación nacional en el diseño y fabricación de las nuevas centrales. A tal efecto han surgido, o se han ampliado, compañías de ingeniería, ha entrado recientemente en funcionamiento una planta industrial para la fabricación de componentes pesados y existe una empresa dedicada a actividades relacionadas con el ciclo del combustible. Todo ello plantea naturalmente requerimientos adicionales de personal debidamente preparado.

3. NECESIDADES DE PERSONAL

El personal de plantilla de una central nuclear puede dividirse en tres categorías.

- a) Los que necesitan licencia de operación o supervisión.
- b) Los que, sin serles exigida ninguna licencia, precisan de una formación adecuada en tecnología nuclear.
- c) Los empleados administrativos o auxiliares que no necesitan formación especial.

Tomando solo en consideración las categorías a) y b) las plantillas de personal pueden variar de una central a otra según el tipo de central y el número de grupos o reactores que comprende. Para una central de agua ligera de un solo grupo y 1000 MWe de potencia puede considerarse como típica la siguiente plantilla de personal técnico:

- 12 Técnicos superiores, alguno de ellos con licencia de supervisor.
- 6 Jefes de operación con licencia de supervisor (técnicos superiores o medios).
- 12 Operadores (técnicos medios) con licencia.
- 40 Técnicos auxiliares (electricistas, electrónicos, mecánicos, auxiliares de laboratorio, etc.) sin necesidad de licencia.

Estas cifras y las del apartado anterior permiten deducir que para la operación de las centrales nucleares puestas en funcionamiento en España entre 1977 y 1985 se precisaran 630 técnicos superiores y medios y 840 técnicos auxiliares con formación adecuada en tecnología nuclear.

La relativa precisión que puedan tener estas cifras se basa en la experiencia existente sobre explotación de centrales nucleares. En todo caso, solo pretenden dar una estimación verosímil sobre las necesidades mínimas que han de presentarse. Habrá que añadir además la reposición del personal que abandone las centrales por motivos diversos, lo que por término medio se estima alcanzará un 10% anual. Y habrá que tener también en cuenta, a fines educacionales, la necesidad de organizar cursillos y pruebas de actualización de conocimientos y de re-entrenamiento. Para los individuos provistos de licencia dicho reentrenamiento es obligatorio cada dos años.

La determinación del personal cualificado en algún aspecto de la tecnología nuclear y necesario para el diseño, construcción y puesta en marcha de una central es más imprecisa que para personal de operación. Estas necesidades dependerán en gran manera del grado de participación de la tecnología y la industria nacional en el proyecto y realización de cada central.

En una primera estimación, supondremos que es 10 años el tiempo que transcurre desde los primeros estudios hasta la puesta en marcha de cada central. Los primeros 4 años se dedican a planificación, selección y estudio del emplazamiento, análisis de ofertas e informe preliminar de seguridad. En esta fase la participación nacional suele ser de un 100%. Los últimos seis años comprenden fundamentalmente la construcción y puesta en marcha de la central. En esta fase la participación nacional varía en los diferentes campos de actividad. En las centrales actualmente en construcción la participación nacional ha llegado a ser la siguiente (2):

Obra civil	100%
Bienes de equipo	50%
Montaje	100%
Ingeniería	80%
Formación de personal	80%
Otros servicios	80%

con un porcentaje global en valor del 66% que se espera aumente hasta conseguir el 80% para las centrales que entren en servicio a partir de 1980.

De la experiencia habida hasta 1975 puede estimarse que el número de técnicos superiores y medios necesario hasta la puesta en marcha de la central es de 90 en la primera fase y 250 en la segunda (3). Suponemos que estas necesidades no son muy distintas en una central con uno o con dos grupos generadores idénticos y que la aportación de personal especializado viene a ser proporcional al porcentaje de participación nacional. De estas consideraciones puede deducirse que el proyecto y construcción de las 13 centrales (8 dobles y 5 sencillas) que se proyecta poner en marcha en España hasta 1985 exigen un número de técnicos especializados no inferior a 1800.

4. CENTROS DE FORMACION

Cursos regulares directamente relacionados con la Tecnología Nuclear tienen lugar en España fundamentalmente en las Facultades de Ciencias y Escuelas Superiores de Ingenieros, en el Instituto de Estudios Nucleares y en las propias empresas eléctricas con programa nuclear.

4.1. Facultades de Ciencias y Escuelas de Ingeniería

En todas las Facultades de Ciencias Físicas de las universidades españolas se explica regularmente la Física Nuclear a varios niveles. En las distintas facultades de Ciencias Químicas se explica la Radioquímica con mayor o menor extensión. Las aplicaciones de los radisotopos se suelen explicar en casi todas las carreras científicas universitarias de carácter experimental o aplicado.

En las escuelas superiores de ingenieros, principalmente industriales, Navales y de Caminos Canales y Puertos se enseñan además una o varias asignaturas directamente relacionadas con la Tecnología Nuclear. En las facultades de Ciencias Geológicas y en las escuelas de Ingenieros de Minas se explican a su vez los fundamentos de la Geología del Uranio.

Particularmente los estudios de ingeniería industrial poseen una especialidad, llamada de Técnicas Energéticas, en la que las citadas enseñanzas se dan con mayor extensión. Dos de las escuelas de ingeniería industrial están incluso dotadas de un reactor nuclear experimental de enseñanza e investigación, del tipo Argonaut, con potencia de hasta 10 Kwt.

Las citadas facultades y escuelas superiores organizan además, irregularmente, cursos monográficos sobre materias afines a la tecnología nuclear, como son los de garantía de calidad, protección radiológica, seguridad nuclear, aplicaciones de los radisotopos en campos específicos, etc. A estos cursos asisten, tanto alumnos próximos a acabar la carrera como postgraduados, muchos de ellos ya empleados en empresas relacionadas con el tema nuclear.

Tanto los anteriores cursillos como los cursos regulares de las escuelas de ingenieros y facultades universitarias suelen ser fundamentalmente teóricos o descriptivos con escaso trabajo experimental. Ello es debido a la excesiva densidad y diversidad de los programas de enseñanza y a la falta de los medios económicos y humanos necesarios para montar y aprovechar eficientemente un laboratorio de tecnología nuclear.

4.2. Instituto de Estudios Nucleares

El Instituto de Estudios Nucleares es un organismo de la Junta de Energía Nuclear, encargado de la formación de personal en temas nucleares y de promover la investigación sobre dichos temas fuera de la JEN.

Para la primera de dichas tareas el Instituto utiliza los laboratorios, plantas piloto y reactores nucleares de la JEN. El profesorado lo constituye, en su mayoría, especialistas de la JEN con aptitudes docentes y que dedican a la enseñanza una parte, generalmente reducida, de su jornada de trabajo.

Con tales medios, el Instituto organiza cursos regulares que tratan de complementar y ampliar las enseñanzas de las facultades universitarias y escuelas de ingeniería citadas anteriormente. Entre ellos figura, en primer lugar, el curso anual de ingeniería nuclear que tiene una duración de diez meses en régimen de jornada completa y dedicación exclusiva. A él asisten postgraduados en ciencias e ingeniería españoles e hispanoamericanos, muchos de ellos ya empleados en empresas eléctricas o de ingeniería y también oficiales de los cuerpos técnicos de las fuerzas armadas. Durante el curso se hacen prácticas minuciosas en las instalaciones de la JEN y se realizan visitas detalladas a centrales nucleares en funcionamiento y en construcción, así como a empresas o fábricas de alguna forma relacionadas con la tecnología nuclear. El número de alumnos está limitado a 21.

Otros cursos regulares son los de tecnología nuclear básica, de cuatro meses de duración, que proporciona el primer ciclo de formación de los futuros operadores de las centrales nucleares. De los siguientes ciclos, hasta completar los tres años y medio que comprende dicha formación, se hablará más adelante.

Otros cursos regulares los constituyen los de capacitación de futuros supervisores y operadores de instalaciones radiactivas. En ellos se proporcionan los conocimientos necesarios para el manejo sin riesgo de los radionúclidos e instalaciones generadoras de radiaciones ionizantes mediante la enseñanza, fundamentalmente práctica, de los efectos de la radiación sobre la materia, detección y medida de las radiaciones y protección radiológica. Se explica y comenta con especial atención la reglamentación española sobre el uso de dichos isótopos e instalaciones. Estos cursos se desarrollan en régimen muy intensivo y suelen tener una duración de tres o cuatro semanas para los supervisores y de una o dos semanas para los operadores. Los conocimientos adquiridos les permiten obtener la licencia necesaria para operar o supervisar la operación de instalaciones radiactivas.

La citada utilización de isótopos radiactivos e instalaciones generadoras de radiaciones ionizantes se ha extendido en España de forma muy notable. Para poder atender a la solicitud de licencias de operación y a las necesidades de formación correspondientes, el Instituto promueve la celebración de los citados cursos en las principales provincias españolas mediante la colaboración con diversas universidades y escuelas técnicas así como con los servicios de formación profesional del Ministerio de Trabajo.

Cursos no regulares se celebran a petición de organismos oficiales o empresas privadas, o bien cuando el Instituto reconoce la necesidad

de atender a la formación de técnicos en una especialidad concreta. En este aspecto se pueden citar cursos para futuros radioquímicos de centrales nucleares, cursos para técnicos en radioprotección, cursos con referencia especial a particulares aplicaciones de los isotopos y cursos de análisis químico instrumental.

4.3. Empresas eléctricas

Consecuentemente al amplio programa de construcción de centrales nucleoelectricas en España, las empresas de producción de energía eléctrica con centrales nucleares en explotación, construcción o proyecto se han visto obligadas y han deseado participar muy activamente en la formación del personal de sus centrales.

A tal fin han establecido cursos coordinados con los que organiza el Instituto de Estudios Nucleares. Así por ejemplo, la formación de los operadores de las centrales nucleares comprende las siguientes etapas:

1. Fase previa, con duración variable de 3 a 8 meses. Enseñanza de los fundamentos de producción de energía térmica. Estancia en una central térmica.
2. Curso de tecnología nuclear básica (4 meses) en el Instituto de Estudios Nucleares, con prácticas de operación en reactores nucleares experimentales.
3. Estancia en una central nuclear similar a la de futuro destino (4 meses) con estudio detallado de los sistemas y equipos de la central.
4. Operación en simulador (3 meses) con estudio de la dinámica de la planta, en condiciones normales y de emergencias muy diversas.
5. Estudio de la planta de destino (12 meses) hasta el conocimiento detallado de los sistemas y equipos de la central y de los procedimientos de operación.
6. Adiestramiento en el emplazamiento (18 meses) hasta el completo conocimiento de la central, con el estudio de su documentación operativa y participación en su puesta en marcha.

Durante las fases 5 y 6 los futuros operadores participan activamente en la redacción del Manual de Operación, tanto en condiciones normales como de emergencia. Reciben además clases complementarias sobre seguridad nuclear, reglamentación, radioprotección, garantía de calidad, etc. y con todo ello preparan el examen final para la obtención de la licencia de operación de la central.

La fase 1 se desarrolla en la propia empresa eléctrica. La fase 2

como ya se ha indicado, en el Instituto de Estudios Nucleares. La fase 3 en la central nuclear de Zorita (PWR) o de Santa María de Garoña (BWR) según el caso. La fase 4 se desarrolla actualmente en los Estados Unidos. La fase 5 se suele desarrollar también en la propia empresa y la 6 en la central en cuya puesta en marcha se ha de participar.

Todas las fases de adiestramiento indicadas se desarrollan pues en España, salvo la 4, por no disponer el país de una instalación apropiada. Dada la importancia creciente de los simuladores, tanto para la formación de nuevos operadores como para su reentrenamiento periódico, las grandes empresas eléctricas europeas han decidido construir individualmente o en consorcios sus propios centros de simulación de centrales nucleares.

Así también la empresa de servicios TECNATOM, S.A., en la que participan la mayoría de las empresas eléctricas españolas, ha decidido la construcción de un centro de entrenamiento próximo a Madrid y encargado, para su instalación en el mismo, dos simuladores de los dos tipos de central PWR y BWR adoptados en nuestro país (4). La entrada en servicio de dichos simuladores está prevista para principios de 1978 el PWR y finales del mismo año el BWR. La citada empresa TECNATOM lleva ya bastantes años dedicada, entre otras actividades, a la formación de personal para las centrales nucleares y participa, por acuerdo con las empresas eléctricas y en coordinación con el Instituto de Estudios Nucleares, en las distintas fases de formación señaladas anteriormente.

Otras empresas privadas interesadas en los programas nucleares, empiezan a organizar, en colaboración generalmente con centros superiores de enseñanza, cursos diversos de formación especializada sobre temas de ingeniería nuclear, garantía de calidad, etc.

5. CONCLUSION

Para terminar queremos hacer dos observaciones. La primera consiste en que la mayoría de las enseñanzas señaladas deben ser, en gran parte, experimentales y prácticas. Por consiguiente y para su debida eficacia, el número de alumnos por curso no puede ser muy elevado. Así, el curso más numeroso de los que organiza el Instituto de Estudios Nucleares es de 24 alumnos, para corresponder a 8 grupos de prácticas de 3 alumnos cada uno. Ello hace que el número de cursos haya de ser muy elevado y que el esfuerzo que actualmente se realiza en el país no se considere suficiente.

La segunda observación se refiere a la conveniencia de utilizar reactores experimentales de muy baja potencia en el proceso de formación de operadores y supervisores de centrales nucleares.

Dichos reactores, destinados a la enseñanza, pueden ser relativamente simples y seguros, permiten la demostración y manejo de los principios básicos de la teoría de reactores, producen radiación y materiales radiacti-

vos, son potencialmente capaces de provocar accidentes y contaminaciones y pueden hacerse con ellos operaciones y experiencias imposibles en el reactor de una central (5). Entre las mas interesantes de tales experiencias puede figurar el manejo de elementos combustibles en cambios de geometría del núcleo y subsiguientes aproximaciones a la masa crítica. Todo ello con un grado de realismo que ayuda a inculcar en el alumno el necesario sentido de responsabilidad por la posible trascendencia de sus maniobras.

Se considera tambien muy interesante el que el alumno pueda producir por sí mismo algunos de los radisotopos que haya de utilizar después en otros trabajos experimentales.

Evidentemente, en la formación de operadores para centrales nucleares, el reactor experimental no puede sustituir al simulador, sino que ambos dispositivos se complementan muy satisfactoriamente.

BIBLIOGRAFIA

- (1) Declaraciones del Ministerio de Industria Español en 17 de Octubre de 1976.
- (2) PASCUAL, F., Lección inaugural del curso de formación de personal en Garantía de Calidad en la Universidad Politécnica de Madrid. Noviembre 1976.
- (3) HAMMOND, S.B. y otros, "Global Manpower Requirements for projected nuclear programme". Proceedings of the European Nuclear Conference, Paris. April 1975. Pergamon Press 1976.
- (4) UGEDO, E., DE CARLOS, J.E., "Status Report on the Spain Simulator Centre for Training NPP operators and technical staff". Specialists Meeting. IAEA. Studsvik, Sweden 27-29 October 1976.
- (5) COX, J.A., "Maximizing the use of research reactors in training power reactor operating staff special reference to U.S. experience". Atom. En. Rev. 14, 2, (1976).

