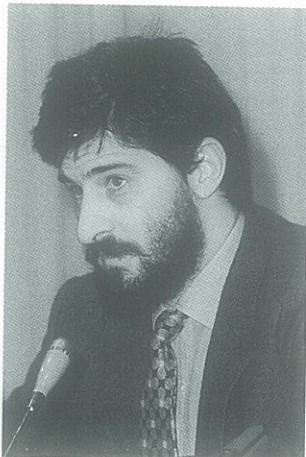


FORMACION Y ENTRENAMIENTO DE ESPECIALISTAS NUCLEARES EN ESPAÑA

EDUCATION AND TRAINING OF NUCLEAR POWER PROFESSIONALS IN SPAIN

José María MARTINEZ-VAL



José María Martínez Val es Catedrático de Tecnología Nuclear en la ETS de I. Industriales de Madrid y Subdirector de Investigación y Doctorado de la mencionada escuela.

Desde 1973 a 1979 trabajó en la Junta de Energía Nuclear, de la cual es funcionario en excedencia voluntaria. En aquel período, sus trabajos se centraron en Neutrónica tanto de reactores térmicos como rápidos, siendo representante español en el «Grupo de Reactores Rápidos» de la Evaluación Internacional del Ciclo del Combustible Nuclear (1978-1979).

Actualmente está integrado en el equipo de Fusión por Confinamiento Inercial de la Universidad Politécnica de Madrid, sin haber abandonado la Neutrónica como campo específico.

Ha publicado artículos en «Nuclear Technology», «Atomkernenergie/Kerntechnik», «Nuclear España», «Energía Nuclear» y «Nuclear Europe», y participado en numerosas conferencias internacionales.

Es Vicepresidente (Presidente Electo) de la Sociedad Nuclear Española.

José María Martínez-Val is Full Profesor of Nuclear Technology in the Polytechnic University of Madrid and Subdirector of Research of the College of Industrial Engineering.

Since 1973 till 1979 he worked in the Junta de Energía Nuclear on neutronics, LWR fuel management and cycle design, and transport codes development. He was the spanish representative in the «Fast Reactor Group» of the International Nuclear Fuel Cycle Evaluation (1978-79).

His current technical interests are neutronics of fusion systems and Inertial Confinement Fusion target numerical simulation. He has published several papers in «Nuclear Technology», «Atomkernenergie/Derntechnik», «Nuclear España», «Energía Nuclear» and «Nuclear Europe», and has participated in a number of conferences and symposia. He is Vicepresident (President Elect) of the Spanish Nuclear Society.

El despliegue e implantación de una nueva tecnología conlleva necesariamente la formación de especialistas, de cuya eficacia, en definitiva, dependerá el éxito o fracaso de la tecnología en cuestión. Dicha formación va estructurándose cronológicamente según esquemas progresivamente más complejos y especializados, tal como lo va requiriendo la maduración tecnológica del sector. Pero, asimismo, es cierto que esta maduración —con su complejidad y su especialización— necesita que las tareas de formación sean fructíferas, pues el factor humano se ha manifestado como uno de los más críticos en el asentamiento de las innovaciones científicas. Se da, pues, una realimentación fundamental entre progreso tecnológico y formación técnica, hasta el punto de no ser atrevido afirmar, como se ha hecho en la cabecera de este párrafo, que el éxito de una nueva tecnología depende sustancialmente de la formación de sus especialistas.

ANTECEDENTES HISTORICO-NUCLEARES

En el caso concreto del sector nuclear español se aprecian ciertas características específicas, perfectamente inteligibles según el curso de la historia nuclear tanto fuera como dentro de nuestras fronteras.

Nacida prácticamente en 1939, la energía nuclear de fisión se desarrolla bajo extraordinario secreto durante la década larga que finaliza en 1953 con la promulgación del programa «Atoms for peace» del presidente Eisenhower. Ciertamente, las explosiones de Hiroshima y Nagasaki en agosto de 1945, y posteriormente la detección de la primera explosión soviética

The deployment of a new technology conveys necessarily the education and training of professional specialized in that new field. At its turn, the effectiveness and success of those specialists will affect the evolution of the new technology. As the new technology unfolds, a peculiar feedback will be established: On the one hand, education and training systems will become more complex and specialized as it will be required by new applications. On the other hand, new applications and programs will be possible if, and only if, the former education stages have produced positive results. It is not reckless to state that the success of a new technology depends mainly on the success of its education and training programs.

HISTORY AND BACKGROUND

The nuclear industry evolution in Spain present some peculiarities that can be understood according to the general history of nuclear power in the world and the specific history of Spain in the same years.

A first stage covers since the factual beginning of fission science, 1939, till the partial declassification of the «Atoms for peace» program launched by President Eisenhower in 1953. That phase was characterized by the secrecy that withheld nuclear science and technology from the international community. As a matter of fact, the detection of the first nuclear soviet

en 1949, trascendieron a la opinión pública; pero ello no menguó, sino al contrario, la política de alto secreto que caracterizó en todos los aspectos el desarrollo de la ciencia nuclear.

Ese período coincide con una época notoriamente singular en la historia de España, recién emergida de una guerra civil. España se declaró no beligerante durante la II Guerra Mundial, y al acabar ésta quedó prácticamente aislada de la comunidad internacional por una resolución de las Naciones Unidas que reprobaba su régimen político. En aquel clima de autarquía, el Gobierno decidió crear una comisión que se ocupara de aquel recién nacido campo científico. Inicialmente se denominó EPAL y disfrutó —o padeció— del mismo ambiente de secreto ya mencionado. Pero en 1951 se creó la Junta de Energía Nuclear, JEN, proyectada a un ambiente mucho más abierto que incluyó el empeño de formar especialistas nucleares mediante estancias en universidades extranjeras. Aunque en principio se tropezó con la confidencialidad de los conocimientos prácticos nucleares, el programa «Atoms for peace» y el tratado hispano-norteamericano del mismo año hicieron posible, definitivamente, la formación de la primera ola de especialistas nucleares españoles, completada casi al cien por cien en centros extranjeros.

La década de los cincuenta fue testigo posteriormente de la constitución de los organismos internacionales de cooperación nuclear: el Organismo Internacional de Energía Atómica de la ONU y la Agencia de Energía Nuclear de la OCDE. Gracias a esos dos organismos, la transmisión de conocimientos nucleares y la asimilación de la tecnología por parte de especialistas españoles se facilitó considerablemente.

Esos mismos años cincuenta se caracterizaron en España por un régimen de estabilización económica, que sentó las bases del fuerte desarrollo industrial que estallaría en los años sesenta. Durante esa época, los españoles estudiosos de la energía nuclear hubieron de pasar por estancias en el extranjero, lo cual obligaría a mostrar una gratitud histórica hacia centros u organizaciones como Harwell (Reino Unido), el Commissariat d'Energie Atomique francés o el Argonne National Laboratory.

1957 es una fecha señalada en este contexto. Por primera vez se incluye en los planes de estudio universitarios la enseñanza nuclear técnica, fundamentalmente en la especialidad Técnicas Energéticas de la carrera de Ingeniero Industrial. Asimismo, en las carreras de Ingeniero de Minas, de Navales y de Caminos, Canales y Puertos se incluyen asignaturas relacionadas con las técnicas nucleares. Análogamente ocurre con la licenciatura de Química Industrial, mientras que los aspectos más teóricos de la energía nuclear se impartían en la licenciatura de Ciencias Físicas. A partir de esta fecha, el acervo nuclear de los especialistas españoles formados en el extranjero se vierte directamente a los universitarios del país, multiplicándose sustancialmente el número de estudiosos en la materia.

1957 registra también otro acontecimiento importante, al fundarse «Tecnatom, S. A.», primera compañía privada española específicamente nuclear, que a lo largo del tiempo tendría, como uno de sus campos de especialidad, la formación y entrenamiento de especialistas nucleares.

El desarrollo industrial español de los años sesenta afectó también al campo nuclear. La primera generación de centrales nucleares —Zorita, Garoña y Vandellós— se comienza a construir en esa época, en la cual se registra un crecimiento anual del consumo de energía eléctrica ligeramente superior al 10 %.

La participación española en la construcción de estas tres centrales no fue decisiva, pero inmediatamente tras su puesta en marcha cayeron bajo la responsabilidad única de equipos españoles de explotación que han sabido cumplir hasta la fecha notablemente con su cometido. El rendimiento económico y la actuación de seguridad de la primera generación de centrales ha sido excelente.

En el mismo año de inicio de construcción de la primera central, 1964, se promulgó la «Ley de la Energía Nuclear», a cuyo amparo se creó el Instituto de Estudios Nucleares dentro del marco de la JEN. Dicho Instituto tenía y tiene como objetivo fundamental la formación de especialistas en las diversas

explosión en August 1949 strengthened even more the top-secret policy in the nuclear field.

That same period can be defined as an autarchy in the history of Spain. In 1939 the Civil War finished, and Spain remained non-belligerent during the World War II. But soon after its conclusion, the spanish political regime was condemned by the United Nations Organization and most of the diplomatic representations were retired from Spain.

At the same time, the government interest in nuclear topics promoted the establishment of a commission, EPAL, that worked also in the atmosphere of secrecy and did not produce too significant results. However, in 1951 the «Junta de Energía Nuclear» was founded at the image and likeness of the american AEC, the british UKAEA or the french CEA. But the scientific strength and the budget were far behind the abovementioned organizations, and it was not till the year of «Atoms for peace» that the JEN began to acquire nuclear knowledge at a very high speed. In September 1953 the american-spanish treaty was signed between President Eisenhower and general Franco, which allowed the spanish scientists to attend nuclear energy courses in american universities and national laboratories.

In the fifties two international agencies were created for promoting the international cooperation on peaceful applications of nuclear energy: IAEA and NEA-OEDC. The spanish specialists took advantage of the services of those agencies, mainly in the early years. It must be recognized as a historical acknowledgement, as well as those to some organizations like Harwell (United Kingdom), the french Commissariat d'Energie Atomique or the Aragonne National Laboratory, where many spanish scientists study at that time.

At the end of that decade, an economic stabilization program was established by the spanish government, setting up the basis of the impressive development of the years sixty. In this same period (1957) the nuclear subjects were officially included by first time in the university plan for technical careers. The speciality of Power Engineering was focused onto nuclear education. Other colleges, like Civil Engineering, Mining, Naval and Industrial Chemistry included also applied nuclear matters. The studies on nuclear science were mainly given in the Faculty of Physics. The 1957 plan enabled the increase of nuclear professionals in Spain.

1957 is also a notorious date in this context because of the foundation of the first spanish private company devoted to nuclear power: «Tecnatom, S. A.». It is worth saying that this company has become one of the fundamental basis of nuclear education and training in Spain, as will be explained later on.

The industrial development in the sixties touched also the nuclear field. The first generation of nuclear power plants was commissioned in those days, that recorded an annual growth of 10 % in electricity consumption.

The spanish participation in the design and construction of those plants (Zorita, Garoña and Vandellós) was not very significant. However they have been operated since the very beginning by spanish specialists, who have achieved an outstanding performance both from the economic and safety points of view.

In the same year of construction start of the first power plant, the spanish «Law of Nuclear Energy» was enacted, which led to the creation of the Institute of Nuclear Studies within the framework of the Junta de Energía Nuclear. The Institute has the objective of educating nuclear specialists and has held

áreas de la energía nuclear. Por sus aulas —y las de sus entidades colaboradores— han pasado miles de profesionales nucleares, como tendremos ocasión de comentar.

Antes de que la crisis energético-económica sentara en España sus reales, la creciente demanda de energía eléctrica motivó el lanzamiento de la segunda generación de centrales, constituida por siete grupos de casi 1.000 MWe por unidad. Por decisión gubernamental, la participación española en la construcción de las centrales tenía que llegar, para los últimos grupos, al 85 % aproximadamente. Esto era posible, lógicamente, gracias a la infraestructura aparecida con la primera generación y gracias al alto número de especialistas nucleares que se graduaban cada año en los diversos centros. En algunos casos, el entrenamiento o perfeccionamiento nuclear se produjo en el propio trabajo, bajo una filosofía de «on the job training» que no produjo resultados negativos, sino al contrario. Este desafío en cuanto al porcentaje de participación nacional quizá contribuyera a la dilación de los períodos de construcción, aunque no parece haber sido, ni de lejos, la causa fundamental de ello. Por el contrario, ese mismo desafío obligó a la consolidación en España de un cuerpo importante de profesionales españoles, mayoritariamente formados en España, que a finales de los años setenta formaban una comunidad eficaz, equilibrada, experta, capaz de afrontar con las máximas garantías la continuación del programa nuclear español e incluso la exportación de «know-how» y de «know-why».

Con esta última fase se puede considerar finalizada la etapa de crecimiento y maduración de la estructura de formación y entrenamiento de profesionales nucleares en España. Precisamente al acabar esta década se inauguraban los simuladores de alcance total de PWR y BWR en la compañía Tecnatom, citada anteriormente, pudiendo señalar este hito la madurez a que se aludía.

FORMACION BASICA NUCLEAR

El carácter multidisciplinar de las técnicas nucleares hace que sean varios los centros universitarios que imparten enseñanzas específicas y afines a la energía nuclear. Desde el punto de vista tecnológico, el núcleo fundamental de formación se encuentra en las universidades politécnicas. Dentro de ellas, la carrera de Ingeniero Industrial, especialidad de Técnicas Energéticas, es la que ofrece un mayor número de horas lectivas dedicadas a la ingeniería nuclear sin olvidar otras asignaturas complementarias, como Termotecnia y Construcciones Industriales. Esta especialidad es la que provee un mayor número de profesionales nucleares en los momentos actuales, principalmente orientados a las centrales nucleares y su ciclo de combustible. Aunque el número de alumnos ha variado de una promoción a otras (alcanzó su máximo a mediados de los setenta) se puede afirmar que entre las escuelas de Madrid, Barcelona, Valencia y Bilbao se sobrepasan anualmente los 150 graduados.

En otras escuelas politécnicas se imparten, asimismo, asignaturas nucleares, aunque sin llegar a configurar un cuadro de formación tan específico como el arriba mencionado. En las Escuelas de Ingenieros de Minas (Madrid y Oviedo) se presta atención especial a la explotación y beneficio del uranio y, en general, al ciclo del combustible, sin tanto énfasis en teoría de reactores y seguridad nuclear, que en cierto modo son los pilares de la especialidad en Industriales.

De modo más marginal se imparten asignaturas nucleares en las carreras de Navales y Caminos, Canales y Puertos. De ambas carreras hay un número no pequeño de ingenieros en el sector nuclear español, por ser su formación global muy adecuada para ciertas áreas como obra civil, contención y equipos mecánicos. Por análogas razones se hallan también algunos ingenieros aeronáuticos en el sector nuclear español.

Otra fuente alternativa de profesionales la constituyen las carreras de Ciencias Químicas y Físicas. En la primera, dentro de la especialidad Química Industrial se encuentran varias asignaturas que facultan para el trabajo en tratamiento de residuos nucleares, acondicionamiento, etc. Por su parte, la carrera de Físicas ofrece una formación más básica, inicialmente

around one thousand courses and seminars on that purpose, working in cooperation with other institutions and companies.

Before the oil-and-economic crisis shocked Spain, a second nuclear power plants generation was launched. It was seven units (around 6,500 MWe) and the government ordered to increase the spanish participation up to 85 %. That very challenge could be satisfied thanks to the background and development of the spanish nuclear community during the so-called first generation. As a matter of fact, it was possible for the university and other institutions to graduate the high number of engineers required to accomplish the objective. In some cases it was necessary a policy of «on the job training», and may be that challenge of increasing the domestic participation led to longer construction periods. Some problems and inefficiencies arose from that government decision, but the nuclear industry grew up to a level of maturity as high as possible with the constraints of market size and economic expectations. At the end of the seventies the nuclear community in Spain was an experienced and well balanced set, able to face the next stages of the national nuclear program and even the export of a good deal of nuclear *Know-how* and *Know-why*.

The abovementioned maturity embodied a sound framework of education and training. Just at that time, the full-scale PWR and BWR simulator of «Tecnatom» began to operate, which was an important milestone for completing the spanish capabilities in this field.

UNIVERSITY STUDIES

The multidisciplinary character of nuclear power induces a spread situation in the university structure for teaching nuclear matters. From a technical point of view, the speciality of Power Engineering, within the college of Industrial Engineering, is the main nuclear university career. This speciality is given at the Politechnic Universities of Madrid, Barcelona, Bilbao and Valencia. (There are some new universities that have embodied this career recently.) As a whole, more than 150 students are graduated each year.

The Power Engineering career is devoted to all the energy sources and conversion systems, but the share of nuclear matters is really preminent.

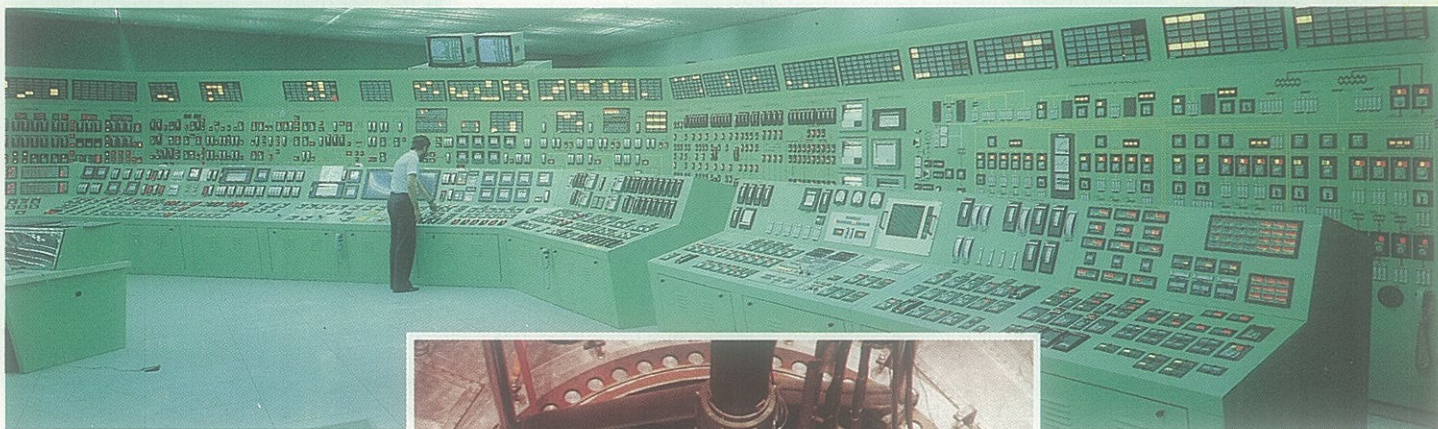
Nuclear subjects are also given in other politechnic careers; namely, Mining, Naval, and Civil Works. In Mining Engineering the attention is focused on the fuel cycle stages related to geology and transformation of matter, without too much emphasis on Reactor Technology and Nuclear Safety, that are the main topics in Power Engineering.

Nuclear subjects are also treated in Physics and Chemistry. The latter does not have a nuclear especiality, but its general contents is very useful for many activities in nuclear installations. The former is mainly oriented to fundamental science, but physicists, as well as chemists, are numerous in the spanish nuclear community, even in the commercial fields.



TECNATOM

SPANISH ENGINEERING SERVICES COMPANY PROVIDING TRAINING,
INSPECTION AND TECHNICAL ASSISTANCE



TRAINING SERVICES

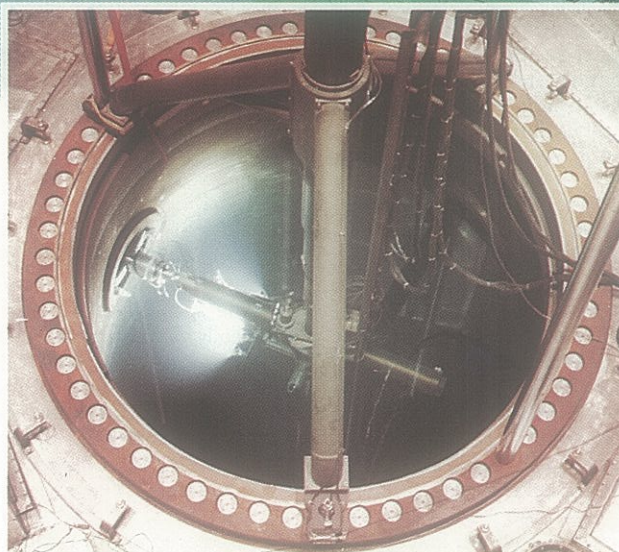
Provided with the most advanced training tools - full scope simulators modelled after BWR & PWR power stations as well as a basic principles fossil simulator - and a highly qualified instructional staff, TECNATOM administers courses and seminars and provides operational supporting services to both domestic and foreign generating units.

Training courses and seminars covering:

- Initial and replacement licenced personnel qualification
- Requalification
- Non-licenced operators
- Chemistry and radiochemistry
- Health physics
- I & C
- Maintenance

Supporting services and products

- Normal & Emergency operating procedures
- Control room design review
- Significant events review
- Safety parameters display system
- Emergency planning
- Plant start-up



During the last fifteen years, Tecnatom has worked in:

Nuclear Power Plants

Angra I (Brazil) • Almaraz I and II (Spain) • Ascó I and II (Spain) • Atucha (Argentina) • Biblis (FRG) • Caorso (Italy) • Cofrentes (Spain) • Döel (Belgium) • Garigliano (Italy) • José Cabrera (Spain) • Laguna Verde (México) • Lemóniz I and II (Spain) • Leibstadt (Switzerland) • Loviisa (Finland) • Santa M.^a de Garoña (Spain) • Trillo (Spain) • Trino (Italy) • Vandellós (Spain) • Valdecaballeros (Spain).

Conventional Power Plants

Alcudia II • Aboño • Algeciras Bay • Cádiz • Candelaria • Compostilla • Cristóbal Colón • Ginamar • Guanarteme • Guardo • Lada • La Robla • Litoral de Almería • Los Barrios • Málaga • Meirama • Narcea • Pasajes • Puente Nuevo • Puentes • Puertollano • Sabón • San Adrián • Santurce • Soto de Ribera • Teruel.

Other Organizations

Association Vinçotte (Belgium) • Consejo de Seguridad Nuclear (Spain) • Comisión de Energía Nuclear de Chile (Chile) • Comisión Federal de Electricidad (México) • Empresa Nacional de Electricidad (Spain) • Empresa Nacional de Fertilizantes (Spain) • Empresa Nacional de Petroleos (Spain) • Instituto de Estudios Nucleares (Spain) • Instituto de Investigaciones Eléctricas (México) • International Atomic Energy Agency (IAEA) • KWU (FRG) • Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk (FRG).

SPECIAL TECHNIQUES

Preservice and inservice inspections are the main tasks performed prior to the start-up and during the outages of generating facilities, using special inspection equipment, including remotely operated robot systems, some of them designed and built by Tecnatom.

Inspections and tests offered:

- Conventional and specialized NDT
- Eddy current tests (mono and multifrequency)
- Test of supports and snubbers
- Test of valves
- Leak tests
- Containment tests (ILRT and SIT)
- Test of ventilation systems (HVAC)

Additional services:

- Design and fabrication of special test devices
- Fracture mechanics and neutronic calculations
- Probabilistic risk assessment
- Component qualification engineering
- Maintenance and warehouse total management
- Calibration of inspection and test equipment
- Computer programs and mechanized applications
- Quality assurance

tecnatom, s.a.



no orientada a las aplicaciones industriales, pero fácilmente complementada con cursos de postgrado que permiten la incorporación de estos licenciados a tareas nucleares estrictamente tecnológicas.

Conviene aclarar a este respecto que cronológicamente ha habido cierto desplazamiento en la procedencia universitaria de los especialistas nucleares españoles. En los primeros tiempos abundaron físicos y químicos, entre otras cosas por ser el núcleo más importante de personal en la JEN. A medida que el protagonismo pasó de esta institución a otras con orientación más comercial, los universitarios procedentes de las politécnicas fueron incrementando su presencia.

En definitiva, la comunidad nuclear española se alimenta de varias carreras de perfiles educativos distintos. No obstante, el resultado, en cuanto a tipología de profesionales disponibles, es notablemente homogéneo y multipropósito. Aunque en la asignación de los puestos de trabajo se tenga en cuenta la formación universitaria original, generalmente ésta no es decisiva, salvo en casos muy puntuales. Ello se debe a que la universidad española, por tradición, no propende a la formación de estudiantes conformados por una tarea muy concreta, sino a dotar a dichos estudiantes de las herramientas científicas y técnicas que le sirvan para afrontar problemas de muy diversa índole dentro de su campo. Esta filosofía pedagógica ha tenido y tiene sus detractores, por entender que se han de producir graduados universitarios mucho más especializados y mucho menos multi-propósito. Aunque hoy día hay una fuerte corriente universitaria de ese sesgo, no hay que olvidar las características del mercado del trabajo técnico español. Por lo general, éste no requiere hornadas grandes de superespecialistas. Por el contrario, el tamaño de las empresas, su dependencia respecto de licencias extranjeras y la necesidad de asimilación tecnológica de diversas fuentes hacen que un profesional universitario versátil sea más útil, al tiempo que mucho más barato de formar. La relación número de alumnos por profesor, que raramente baja de 10 en la universidad española, y la escasez presupuestaria hacen poco menos que imposible la superespecialización. Sin embargo, el sector nuclear español no se ha visto frenado, en absoluto, por esta causa. Durante el lanzamiento de la segunda generación de centrales nucleares españolas (en los sesenta) más de mil graduados universitarios se incorporaron a dicho programa y resultaron una de las causas de su éxito.

CURSOS DE ALTA ESPECIALIZACION

La necesaria especialización se obtiene en España básicamente a través de cursos de post-grado y similares. Estos se desarrollan básicamente en tres ámbitos: la universidad, el Instituto de Estudios Nucleares y algunas empresas. En algunos casos existe colaboración entre varias de estas instituciones.

En el marco universitario cabe distinguir dos tipos de cursos: los de doctorado (que son requisito previo a la elaboración de la tesis doctoral) y los de post-grado. Los primeros poseen un carácter más teórico y están sometidos a la reglamentación académica. Los últimos son de mucha mayor concreción y ajustados a las necesidades particulares de cada temporada. Una relación completa de los cursos ofrecidos se escapa del marco de este artículo.

El Instituto de Estudios Nucleares de la JEN tiene instituido desde su fundación un curso de Ingeniería Nuclear para post-graduados, que goza de considerable reputación. Hasta la fecha se han formado unos 400 técnicos (varios de ellos sudamericanos), siguiendo un calendario de 500 horas de clases lectivas y 200 de trabajos prácticos.

El Instituto desarrolla, directamente o bajo colaboración, cursos monográficos en otros temas, generalmente sin tanta extensión temporal.

Como ejemplo de formación especializada realizada mediante colaboración de empresas y universidad merece ser citado el programa de la Universidad de Comillas (ICAI) y Empresarios Agrupados, S. A., abierto para todo titulado superior interesado en el campo nuclear. Aunque el contenido exacto del programa varía un poco de año en año, básicamente consta de cuatro cursos:

Is worth pointing out that at the beginning of the nuclear era in Spain, physicists and chemists were the majority in the spanish nuclear community, due mainly to the very scientific objectives of the Junta de Energía Nuclear. As the nuclear power plants program unfolded, a shift was observed from science careers to politechnics. Nevertheless, and taking into account the multi-purpose structure of the university careers in Spain, the university degree is not the main item in personnel selection. Other factors, as the University of origin («alma mater»), the marks, the post-graduate courses and the professional experience can outweigh the career degree.

A controversy can be raised about the philosophy of university studies in Spain. It has been mentioned the multi-purpose character of them, what means a not very specialized system. Many courses on basic science are typically lectured, so that a university graduate has a broad perspective of knowledge just after leaving his college. Beyond that point, the required specialization can be achieved by post-graduate courses, but the usual way is the «on the job training» policy. Due to the sound scientific and technical background of the graduates, this policy does not present unsurmountable problems for them.

There is a real trend in the spanish university for changing that traditional scheme to a more specialized one. However, it must be kept in mind the structure of the spanish professional market; namely, the size of the companies, their dependence on foreign licences and the need of assimilating the new technologies coming from abroad. Probably, these requirements are better suited by the traditional policy than by the new one. On the other hand, the specialized scheme is far more expensive and needs a mean number of students per professor smaller than 10. This figure can not be reached with the real budgets and faculties of the spanish university.

Anyhow, and in spite of the potential improvements on the education organization and plans, it must be stated that the launching of the main spanish nuclear program with the second generation power stations was perfectly supported, and was never jeopardized, by domestic capabilities of graduating nuclear professionals.

POST-GRADUATE STUDIES

The specialization required in the nuclear field is obtained basically via post-graduate courses. There are many institutions and companies devoted to this task, but it deserves to mention the Institute of Nuclear Studies (of the JEN), some universities and some private companies.

In the university framework two types of courses are lectured: doctoral courses, required to perform a Ph. D. and oriented mainly to science and research, and post-graduate courses. The latter ones do not follow an academic rule, but are focused onto one or more subjects of interest in a given moment. The complete list of courses can not be listed in this paper, obviously.

The Institute of Nuclear Studies organizes a notorius course of Nuclear Engineering since 1964. It is an annual course with 500 school-hours and 200 hours of object lessons. More than 400 students have attended this course so far, including some tens of spanish-speaking americans.

The Institute holds also monographic and topical courses, in many cases with the collaboration of other spanish institutions or the IAEA.

Other types of collaboration for teaching can be found in the spanish nuclear community. A good example is the set of activities developed by the Universidad de Comillas (ICAI) and «Empresarios Agruados, S. A.». Even though the latter is a private company, the courses are open to all the graduates with background on applied physics and engineering. Four courses are given annually:

- Tecnología nuclear. Comprende unas 250 horas dedicadas al análisis de sistemas termohidráulicos, mecánicos, etc. Desde su iniciación han seguido este curso unos 1.000 alumnos.
- Materiales, fabricación y calidad para proyectos nucleares, que cualifica inspectores a nivel III según la norma ANSI N45.2.6. Se extiende durante 200 horas y ha sido cursado por unos 120 alumnos.
- Formación en materia informática, que complementa el anterior.

Algunos cursos de especialización, normalmente orientados a aplicaciones muy concretas, son impartidos por varias empresas del sector, entre las que merece citarse Tecnatom, que de forma periódica organiza seminarios sobre Protección Radiológica, Atenuación de Daños al Núcleo, Especificaciones Técnicas de Funcionamiento, Operación en Emergencias y otros temas.

Dentro del contexto de la alta especialización hay que citar la labor universitaria de investigación, en muchos casos relacionada con el desarrollo de nuevas técnicas y nuevos conocimientos nucleares. En la Universidad Politécnica de Madrid, las líneas de trabajo están orientadas hacia la fusión nuclear y hacia la seguridad de los reactores de fisión. Obviamente, la primera línea se desarrolla con un horizonte más lejano, propio de una fuente de energía emergente, pero que puede jugar un papel muy importante en el futuro. La línea de seguridad nuclear investiga tanto en el análisis de accidentes como en la estimación probabilística de riesgos. Lógicamente, en esta tarea subyace el objetivo de verter hacia las empresas del sector los desarrollos que se vayan consiguiendo.

En las Politécnicas de Barcelona y Valencia, la investigación se desarrolla en función de sus entornos nucleares industriales, pues son regiones donde hay ubicada una potencia nuclear estimable (3.500 MWe en el primer caso, contando la construcción, y 1.000 en el segundo). Las universidades juegan cierto papel en la formación de operadores para estas instalaciones, en el desarrollo de modelos de cálculo no convencionales y en la determinación del impacto radiológico potencial en el entorno de la central.

Un caso relevante de investigación sobre fondo radiológico ambiental se da en la Escuela de Minas de Oviedo, centro español, sin duda, más avanzado en los estudios sobre radón.

En definitiva, cabe decir que en España han madurado cursos de alta especialización, con sus actividades complementarias, para todas las fases de la industria nuclear que han llegado a la comercialización. En esta madurez ha habido concurrencia de universidades, organismos oficiales como el Instituto de Estudios Nucleares y empresas privadas, a veces en colaboración con las primeras. Quizá en este múltiple soporte de la especialización radique el éxito que se haya podido alcanzar en este campo.

CURSOS PARA OBTENCION DE LICENCIAS

La legislación española exige la obtención de ciertos títulos —o licencias— para operar en instalaciones nucleares o trabajar con material radiactivo. Estas licencias son otorgadas por el Consejo de Seguridad Nuclear, una vez superados determinados exámenes. La preparación de cara a éstos puede realizarse de diversos modos, aunque lo normal es acogerse a alguna de las instituciones o empresas que habitualmente imparten cursos con este fin. En este contexto habría que distinguir al personal de instalaciones radiactivas del de las instalaciones nucleares. A estos últimos les son exigidos unos requisitos de mucho mayor nivel, que normalmente requieren varios meses de preparación específica que podría denominarse «entrenamiento». A este tema se dedica el siguiente apartado de este artículo.

En cuanto a los operadores y supervisores de instalaciones radiactivas, el Instituto de Estudios Nucleares es la organización más significativa, aunque algunas de las actividades las realice en colaboración con hospitales, universidades, empresas, etc. En muchos de estos cursos existe previo acuerdo con

- Nuclear technology: 250 hours devoted to nuclear-reactor mechanics, mechanical system analysis and related topics. More than 1,000 students have attended this course so far.
- Nuclear materials, manufacture and quality. It qualifies inspector of level III according to ANSI N45.2.6. Around 120 graduates have attended the course.
- Nuclear design. 900 hours devoted to many specialized fields of nuclear engineering.
- Computer applications for nuclear design, as a complement of the former course.

Some other topical courses are lectured by different organizations. For instance, Tecnatom gives courses periodically on Radiological Protection, Operating Specifications for Nuclear Facilities, Nuclear Emergencies and so on.

Within the context of high-level specialization it must be quoted the university research work, which helps to boost the technology at shorter or longer terms. In the Polytechnic University of Madrid, the two main efforts are devoted to nuclear fusion and LWR safety. The latter is mainly focused on probabilistic risk assessment and loss-of-flow accident analysis. In both cases the results of the investigation can improve the national technology on these areas. It is worth adding that these endeavours are embodied in international cooperations (for instance, the LOFT project).

In Barcelona and Valencia universities the research is developed according to the important nuclear facilities of those regions (3,500 MWe in the first case and 1,000 MWe in the second). Those universities play a preminent role in developing computational capabilities for non-conventional calculations on the radiological impact in the power plant environment, as well as the behaviour of radioactive effluents.

A relevant case of research on the radioactivity background due to radon is the work carried out by the College of Mining at Oviedo.

As a summary, it can be stated that a wide perspective of post-graduate courses can be found in Spain, covering all the nuclear fields that have become commercialized. The existence of many ways to get a high-specialization degree is a guarantee for the deployment of the spanish nuclear program in years to come.

LICENSEE COURSES

According to the spanish regulations, the operators and supervisors of nuclear and radioactive installations must possess a license given by the Spanish Nuclear Safety Council. Usually, those licenses are obtained attending successfully some courses lectured by different institutions. In some cases, the institutions have an agreement with the Council for organizing the licensee examinations.

The requirements for radioactive installation operators are much less severe than those for nuclear facility operators. As a matter of fact, these ones must follow a long and well-defined training program including practise in full-scale simulators and experience in operating power plants. This topic will be treated in the next section.

Operators and supervisors of radioactive installations must follow courses authorized by the Nuclear Safety Council. The most active organization in this field is the Institute of Nuclear Studies, although many of the courses are organized in cooperation with other institutions, as hospitals, universities and so forth. The course length is 2 to 4 weeks, and annually 400

el Consejo de Seguridad Nuclear para que la licencia se conceda mediante el aprobado del curso. La duración de éstos oscila entre dos y cuatro semanas, y el número de asistentes es de unos 400 operadores y 400 supervisores anualmente. Hasta la fecha se han desarrollado más de 150 cursos en los primeros y unos 100 para supervisores. Los temas específicos que cubren típicamente son: Radiología industrial, Control de procesos (con radioisótopos), Fuentes de neutrones, Medicina nuclear y Teleterapia.

Dado que estos cursos son necesarios para empleados de instalaciones esparcidas por toda la geografía española, se procura descentralizarlos y desarrollarlos con la colaboración de entidades regionales de relevancia nuclear. Tal es el caso de la Escuela de Industriales de Barcelona, que imparte enseñanzas de este tipo, incluyendo la formación teórica de los operadores y supervisores de algunas centrales, aunque a éstos se les exigen ulteriores estudios y entrenamientos.

En definitiva, se puede afirmar que hay en España una red suficiente de centros y enseñanzas para posibilitar el acceso a las licencias reglamentarias que concede el Consejo de Seguridad Nuclear.

ENTRENAMIENTO DEL PERSONAL DE INSTALACIONES NUCLEARES

Debido a la mayor importancia radiológica (y también económica, ¿por qué no decirlo?), los requisitos aplicados a operadores y supervisores de centrales nucleares son mucho más estrictos y profundos. Hay que hacer constar que para acceder a estos niveles no es necesario el título universitario superior, sino el de grado medio. Por desgracia, en los estudios que corresponden a éstos no se han desplegado significativamente las enseñanzas nucleares, al contrario de lo que se mencionó en el apartado II para los titulados superiores. La mayoría de los aspirantes a supervisores proceden de Ingeniería Técnica Industrial (ramas de Mecánica, Electricidad y Química), por lo cual es necesario comenzar la formación por cursos básicos de física nuclear, neutrónica, radioisótopos, protección radiactiva, etc.

Esta primera etapa está en realidad integrada en un Plan de Formación, que ha de ser aprobado por el Consejo de Seguridad Nuclear y que cuenta con períodos de adiestramiento en simuladores de alcance total y en centrales nucleares en explotación. El plan, íntegramente, puede llevarse a cabo en España.

Aunque en las primeras etapas de formación puedan colaborar diversas entidades docentes, el núcleo de entrenamiento y demás actividades específicas son desarrolladas fundamentalmente por la empresa «Tecnatom, S. A.» que, como ya se dijo, cuenta entre sus especialidades principales la formación del personal de operación. «Tecnatom» tiene establecido un «Plan básico de adiestramiento», acorde con lo especificado en el Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas y con las Guías de Seguridad de la JEN, núms. 2 y 5. Se tienen en cuenta además las prescripciones de la legislación americana (suplementaria de la española para todas las centrales de dicha procedencia en el NSSS), concretamente en 10 CFR50, 10 CFR55 y la norma ANSI-18.1.

El «Plan básico de adiestramiento» se extiende sobre algo más de 50 semanas lectivas, muchas de las cuales se dedican a estancias (tuteladas) en centrales, prácticas en el simulador, participación en la redacción del Manual de Operación de la Central (si es de estreno) y demás tareas de habituación técnica al entorno concreto en el cual habrán de desempeñar sus funciones. Este último apartado tiene interés primordial no sólo por los aspectos técnicos, sino también por la evaluación psicofísica de los aspirantes y su capacidad de aplicación a la realidad de los conocimientos adquiridos.

El plan consta de siete fases más algunas actividades intercaladas:

- Fundamentos físicos y tecnológicos de centrales eléctricas.
- Fundamentos de operación de reactores (con prácticas).
- Tecnología de centrales (con cursos sobre computadores de proceso).
- Simulación real (al menos, 125 horas de simulación evaluada).

operators and 400 supervisors receive their licenses. So far, more than 150 courses for operators and 100 for supervisors have been given. Provided those professionals are needed in (and come from) different regions of Spain, the courses are held in most of the important cities. For instance, the College of Industrial Engineering at Barcelona gives several courses for licensees, including the lectures on basic nuclear knowledge for nuclear facilities operators.

The abovementioned organizations and similar centers form a net that really ease the obtention of the licenses. It could be said that the indispensable safety regulations on that point do not hamper the development of radioactivity applications, thanks to the system of courses explained above.

NUCLEAR FACILITIES OPERATOR TRAINING

The Safety Analysis Report of a nuclear facility in Spain has to embody a definition of the personnel establishment, including the qualified staff of operators and supervisors. The safety regulations require only a bachelor degree for staff members, except at the very high levels of liability, where a Master (in physics or engineering) is required.

In the spanish university there is not a specialized career or nuclear power at bachelor level. The university studies on that field are restricted to the three years Master in some careers (for instance, in Power Engineering, as it was explained in section II). On the other hand, operators of nuclear power plants have to have different backgrounds: electronics, mechanics, chemistry, to fit admissibly the different duties of different staff positions.

Due to these facts, the staff is selected according to the university report, professional experience and psychological maturity, and afterwards is educated and trained specifically in nuclear power plant operation.

The Nuclear Training Program has to be approved by the Nuclear Safety Council that has to give the final licenses. The program is usually divided into stages that are performed under the responsibility of authorized institutions.

The program lasts around 50 weeks, many of them devoted to practising in full-scale simulators, drafting and reviewing of the Facility Operating Handbook and stages in power plants. The activities are scheduled typically as follows:

- Fundamentals of the physics and technology of nuclear power stations.
- Fundamentals of reactor operation.
- Technology of the systems of a type of power plant (the licenses will be given for a specific installation).
- Monitored practises in full-scale simulator (125 hours at least).
- Technical specifications analysis and evaluation.
- Actual participation in an operating power plant of the same type.
- Final preparation for the license examination.

All the program is developed according to the Safety Guides of the JEN n.º 2 and 5 and the applicable northamerican regulations (namely, 10 CFR50 and 55 and standard ANSI-18.1). Currently, the Nuclear Safety Council requires the renewal of the licences every two years.

- Manual de operación de la central concreta (redacción, actualización, estudio analítico).
- Preparación final para el examen de licencia.
- Recalificación bienal de la licencia (con prácticas de simulador).

Los cursos de formación se complementan con asesorías durante las pruebas preoperacionales y el arranque más un apoyo técnico continuado.

Hasta la fecha, más de 1.500 técnicos han sido adiestrados según este programa no sólo para centrales españoles, sino también finlandesas (C. N. Loviisa), suizas (C. N. Leibstadt), belgas (C. N. Doel), argentinas (C. N. Atucha) y mejicanas (C. N. Laguna Verde). Las horas de simulador ascienden a unas 20.000 por el momento. La disponibilidad de estos equipos permite redondear la tarea de formación de especialistas nucleares y mantener un régimen de reciclado y actualización ciertamente indispensable en esta industria.

COMENTARIOS FINALES

Esta rápida panorámica sobre las actividades de formación nuclear en España permite ciertas conclusiones que conviene subrayar. Es patente, en primer lugar, la participación de diversos sectores en esta tarea: universidades, centros oficiales y empresas, y es patente también que exista cierta colaboración entre las diversas instituciones, pero ésta es puntual y circunstancial, y desde luego no existe un órgano supremo director o coordinador de las actividades de formación nuclear. Algunas personas pueden interpretar esta carencia como una falta grave, pero una opinión mayoritaria entre los especialistas mantiene la tesis opuesta. De haber existido un órgano supremo en esta actividad nuclear (como en otras muchas), quizá se hubiese obtenido mayor coherencia; pero quizá, igualmente, se habría podido producir una deficiencia de funcionamiento de dicho órgano supremo que hubiera provocado el colapso y la ineficacia más o menos total de las actividades de formación nuclear. Y este riesgo era, y es, demasiado grande para poder ser asumido.

La ventaja de la situación real multisectorial es que resulta muy difícil el fallo de todos los soportes del sistema. Sin embargo, de existir uno solo, sobre el que descansan y se ramifican los demás, su desplome acarrearía el del conjunto en su totalidad.

Sin mediar ninguna decisión política al respecto, la propia evolución del programa nuclear español derivó hacia esa situación. El hecho de que jamás se planteara la necesidad de un órgano supremo coordinador cabe explicarlo por la siguiente razón fáctica: en ningún momento el desarrollo nuclear español se ha visto demorado, obstaculizado o comprometido por incapacidad de formación de especialistas. (Cabría señalar a este respecto que en esto hay analogía con otros sectores tecnológicos. Por ejemplo, ni la construcción de grandes presas ni la construcción naval ni la industria automovilística en España han sufrido ningún tipo de frenazo por carencia de especialistas nacionales. Está por ver qué pasará con las nuevas tecnologías que se avencinan como la robótica, computadores, fisión nuclear, etc.)

Que no haya habido carencia de especialistas en el sector nuclear se debe, a su vez, a la permeabilidad e interconexión entre los diversos ámbitos afectados. Aunque ésta podría ser mayor aún, es indudable que en el sector concurren los intereses y necesidades de los diversos campos (explotadores, ingeniería, suministradores, universidades, centros oficiales). De dicha concurrencia se obtienen la fuerza y las ideas para llevar adelante los programas de formación nuclear.

Uno de los medios de fomentar la interacción entre los diversos subsectores nucleares es la Sociedad Nuclear Española, cuya revista y cuyas reuniones ofrecen un foro idóneo para el intercambio de experiencias e inquietudes entre los profesionales nucleares.

La SNE ha dedicado siempre una atención preferente a las tareas de formación, de acuerdo con uno de sus objetivos estatutarios. Aunque en las reuniones anuales no suele haber demasiadas ponencias sobre educación, las reuniones en sí, donde conviven estrechamente especialistas de diversas áreas,

Even though some universities and institutions do participate in the early stages of the program, most of the work is done by Tecnatom, S. A. The Tecnatom facilities include two full-scale simulators (PWR and BWR), a wide software system and an experienced staff on nuclear training that can support the power plants personnel in transients, emergencies and other circumstances.

More than 1,500 operators and supervisors have been trained so far according to that program, including staff members from non-spanish plants like Loviisa (Finland), Leibstadt (Switzerland), Doel (Belgium), Atucha (Argentina) and Laguna Verde (México). Up to now, more than 20,000 hours of simulators have been devoted to training lectures. Thanks to the availability of these facilities, the complete program can be performed in Spain, which allows a technical coherence from the beginning to the end of the nuclear training task.

CONCLUDING REMARKS

Along the 35 years of nuclear history in Spain, a system has been developed for the education on this subject. The system is characterized by the coexistence of several organizations of different nature that cover different activities. As a matter of fact, there is not an authority to coordinate all this task, which can be considered as a fault by some people. However, many others think of that issue in the opposite way, by due to two main reasons. First, a central authority can become a critical point in the system, in such a way that the failure of the authority would induce the failure of the whole system. That was a risk too high for being assumed by the spanish nuclear industry, that tried always to avoid a centralized and powerful authority (the JEN was an actual authority at the early times of the spanish nuclear history, but the JEN did not participate significantly in the deployment of the nuclear power plants).

The second reason is related to the very open character of the nuclear community, what allows a clear communication of the interests, requirements and capabilities of the different institutions: universities and institutes on the one hand, and industrial companies on the other hand.

One of the ways of enhancing the communication among nuclear sectors is the Spanish Nuclear Society. Although in the Annual Meetings there are not too many transactions about cooperation on nuclear education, the meetings provide a suitable forum to promote the cooperation itself. Thanks to the meetings it is quite possible for the education professionals to know the evolution of the requirements about personnel from the industrial companies. On the other hand, educators can present his viewpoints about the ways to get the best of the actual capabilities for matching the industry requirements.

Another item for improving the aforementioned communication is the monthly journal of the Spanish Nuclear Society, «Nuclear España». The issues of october 82 and december 83 were devoted to education and training. Those interested in a deeper insight of the spanish nuclear education system can look up these issues.

The Spanish Nuclear Society is also aware of the importance of the international exchange experiences in this field. In october of 1983 a conference was held in Madrid with the title

(See page 94)

son un buen modo de actualizar permanentemente los programas educativos (incluyendo técnicas emergentes, como el Análisis Probabilístico de Riesgos, por ejemplo). Por otra parte, la revista de la Sociedad, «Nuclear España», ha dedicado dos números monográficos al tema, en octubre de 1982 y diciembre de 1983, donde pueden encontrarse ampliaciones más detalladas de muchos de los temas tratados aquí.

El interés de la SNE por estas cuestiones ha trascendido incluso el ámbito nacional. En octubre de 1983 se celebró en Madrid una conferencia internacional bajo el título «Entrena-

(Pasa a la página 94)