

LA FORMACIÓN SUPERIOR EN EL SECTOR NUCLEAR

La formación superior en Ingeniería Nuclear en España ha sido siempre de alto nivel produciendo especialistas que se han ido incorporando como profesionales de las distintas áreas del sector de la Energía Nuclear. Estas áreas van desde la técnica, desarrollando trabajos de ingeniería de calidad, hasta la de gestión, dirigiendo departamentos o incluso empresas, pasando por la investigación tanto en centros dedicados a ello como en la universidad. Esta formación, que ha pasado por distintas fases con una importante variación del volumen de alumnos dependiendo de la coyuntura que se presentara al sector nuclear, se encuentra ahora en un momento de cambios derivados del proceso de convergencia europeo, o proceso de Bolonia, cuya situación final no está todavía bien definida. Este artículo incluye la descripción de los estudios que se imparten en dos de las universidades españolas con más tradición en formación nuclear, incluyendo en su descripción tanto los estudios de grado como los de postgrado.

The postgraduate education in Nuclear engineering in Spain has always been of high quality generating specialists that have been incorporated as professionals of the different areas of the nuclear energy sector. These areas go from the technological, developing high quality engineering works, to the management, running departments and even companies, going through the research, the same in the research centers as in the university. This education, that has gone through different phases with an important variation of alumnae number depending on the situation of the nuclear sector, is nowadays in a moment of change derived from the European convergence process (Bologna) whose final situation is not still defined. This article includes the description of the studies given in two of the Spanish universities with more tradition in nuclear education, including the graduate and post-graduate studies.

Estudios de Grado y Postgrado relacionados con la energía nuclear en la Universidad Politécnica de Valencia

Alberto Escrivá y José Luis Muñoz-Cobo

INTRODUCCIÓN

El sistema universitario español se encuentra actualmente en fase de adaptación al Espacio Europeo de Educación Superior (EEES). Dicha adaptación se ha llevado a cabo a través de la definición de un sistema de titulaciones basado en dos niveles (Grado y Posgrado). El segundo nivel, Posgrado, conduce a la obtención de dos títulos: máster y doctorado.

Dicho sistema viene a sustituir al actual sistema de titulaciones, formado por:

- Titulaciones de primer ciclo.
- Titulaciones de primer y segundo ciclo.
- Titulaciones de segundo ciclo.
- Programas de doctorado (tercer ciclo).

El Máster corresponde al segundo ciclo del nuevo sistema universitario y debe tener una extensión mínima de 60 créditos y máxima de 120 créditos, mientras que el doctorado corresponde al tercer ciclo del nuevo sistema universitario y comprende la elaboración y presentación de la Tesis Doctoral.

Actualmente en la Universidad Politécnica de Valencia se está impartiendo una titulación de ciclo largo, que deberá ser sustituida en los próximos años, y dos máster oficiales relacionados con la energía nuclear.

TÍTULO DE INGENIERO INDUSTRIAL

El título de ciclo largo (primer y segundo ciclo) de ingeniero industrial se imparte en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales.

El de ingeniero industrial es un título superior con perfil generalista. La carrera consta de 375 créditos distribuidos en 10 semestres procurándose unos sólidos fundamentos científicos en los primeros cursos y adquiriendo un claro perfil de ingeniería a lo largo del plan de estudios, que culmina con el desarrollo de una intensificación tecnológica al final de la carrera.

La intensificación relacionada con la energía nuclear se denomina "Energía: sub-intensificación nuclear". Los alumnos del bloque de energía cursan todos ellos las asignaturas de física y tecnología nuclear. Los que cursan la sub-intensificación nuclear cursan, además, centrales de producción de energía eléctrica, aprovechamiento de la energía nuclear, análisis de riesgos, termohidráulica, radioisótopos, protección radiológica y otras. En total el alumno cursa 39 créditos relacionados con el mundo nuclear.

MÁSTER OFICIAL EN TECNOLOGÍA ENERGÉTICA PARA DESARROLLO SOSTENIBLE

El objetivo de este Máster es dotar a sus titulados con todos los conocimientos

necesarios para abordar la actividad profesional y/o las labores de investigación en el sector energético, de acuerdo con las necesidades de desarrollo sostenible, esto es: mejorando la eficiencia y el ahorro, así como limitando el impacto ambiental de los procesos de generación, transporte y utilización de la energía. Este objetivo general se alcanza mediante los siguientes objetivos específicos: a) una formación multidisciplinar equilibrada en el campo de la energía; b) formación en las tecnologías para la transformación y almacenamiento de la energía y c) introducción de los conceptos económicos necesarios para entender los mecanismos de mercado.

El máster tiene 3 especialidades:

- Energías renovables.
- Eficiencia energética.
- Energía nuclear.

Está dirigido a estudiantes de escuelas de ingeniería superior y técnica y a licenciados en ciencias. A profesionales especialistas en cualquiera de las ramas afines con la energía para que reciban una formación que les permita complementar su conocimiento del resto de ramas permitiendo así que su formación sea integral en este campo.

Este Máster se ha estructurado en un curso completo y una tesis de máster. El primer cuatrimestre del curso proporciona, en un bloque de 15 créditos común a

todas las especialidades, los fundamentos precisos para que el alumno pueda abordar los aspectos más avanzados que se impartirán en las distintas especialidades. Cada una de las tres especialidades incluye un bloque de 29 créditos formado por asignaturas específicas de la especialización elegida, más otros 6 créditos de asignaturas optativas a elegir entre las impartidas en las otras especialidades.

Las materias comunes son: el problema energético y el desarrollo sostenible, introducción a la tecnología energética, impacto ambiental de los sistemas energéticos y mercados energéticos.

Las especialidades incluyen las asignaturas precisas para que el alumno adquiera los conocimientos avanzados en los distintos campos y la capacidad de analizar proyectos y desarrollar diseños de instalaciones y aplicaciones en los campos respectivos.

Por lo que respecta a la especialidad de energía nuclear, ésta incluye las siguientes materias: fundamentos de tecnología nuclear, termohidráulica, aplicaciones médicas de la energía nuclear, centrales avanzadas de fisión, reactores de fusión, residuos: almacenamiento y transmutación, programas, legislación y normativa.

La organización del Máster corresponde a la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y, en el mismo, participan los Dptos. de Ingeniería Eléctrica, Termodinámica Aplicada, Inge-

niería Química y Nuclear; el Instituto de Ingeniería Energética, así como instituciones y empresas: Agencia Valenciana de la Energía, Acciona Energía, Grupo-tec Solar, Iberdrola, Unión Fenosa.

MÁSTER EN SEGURIDAD INDUSTRIAL Y MEDIO AMBIENTE

Los procesos industriales relacionados con la industria química y con las actividades de producción y distribución de la energía asumen altos riesgos operativos derivados de ciertas actividades, con diferentes grados de probabilidad de ocurrencia y severidad, que pueden afectar a las personas, a los equipos y al medio ambiente.

Esto hace que las empresas estén cada vez más preocupadas en definir y cuantificar el riesgo asociado a sus actividades, ya que deben enfrentarse a una serie de desafíos relacionados con los cambios en los estilos de gestión, la preservación del medio ambiente y el uso correcto de los recursos. Es necesario, por tanto, personal cualificado y motivado que pueda estudiar, analizar y promover medidas orientadas hacia la seguridad industrial y del medio ambiente.

Entre los objetivos de este Máster relacionados con la energía nuclear están:

- Conocer los problemas ambientales de la energía nuclear y las vías por las que los productos radiactivos pueden pasar al medio.

- Analizar los problemas de seguridad en la industria, los tipos de accidentes y las técnicas de análisis deterministas y probabilistas para evaluar la seguridad.

Este Máster se ha estructurado en un curso completo (48 créditos) y una tesis de master (12 créditos).

De las tres especialidades que tiene una de ellas está dedicada al mundo nuclear: medio ambiente y seguridad nuclear. Esta especialidad incluye las siguientes materias: análisis avanzado de la señal, análisis probabilista de riesgos, dinámica nuclear, dosimetría de la radiación, economía de la energía y política ambiental, introducción a los aceleradores de partículas y a la dinámica de haces lineales, introducción a los métodos de *soft-computing* en ingeniería: algoritmos genéticos, redes neuronales y lógica fuzzy, introducción al flujo bifásico, métodos y aplicaciones en radioquímica, problemas ambientales de la energía nuclear, problemas de seguridad en reactores nucleares, técnicas de medida y adquisición de señales aplicadas al mantenimiento predictivo, termohidráulica.

La organización del Máster corresponde al Departamento de Ingeniería Química y Nuclear, y en el mismo también participan el Instituto de Seguridad Industrial, Radiofísica y Medioambiental y el Instituto de Ingeniería Energética ■

La formación en Ingeniería Nuclear en la Universidad del País Vasco

F. Legarda, M. Herranz y R. Idoeta

Los autores de este artículo trabajan en el Departamento de Ingeniería Nuclear y Mecánica de Fluidos. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Bilbao.

La formación en Ingeniería Nuclear en la Universidad del País Vasco aparece en estos momentos en todos los niveles formativos, desde la Ingeniería Técnica hasta el Doctorado y se encuentra en una fase de cambio derivada del proceso de convergencia europeo, o proceso de Bolonia, cuya situación final no está todavía bien definida. Contempla todos los aspectos de la Ingeniería Nuclear en una acepción amplia del término que abarca desde los relacionados con la generación de energía hasta los relacionados con las aplicaciones de las radiaciones en distintas áreas tecnológicas y sanitarias.

La impartición de materias del ámbito de la ingeniería nuclear se inició en la entonces Escuela Especial de Ingenieros Industriales de Bilbao, hoy Escuela Técnica Superior de Ingeniería, en el curso 1955-56, teniendo por lo tanto una historia de algo más de 50 años.

Durante este tiempo ha estado presente, con desigual intensidad, en los diferentes Planes de Estudios de Ingeniería Industrial; desde el Plan 1957, pasando por el Plan 1964, que la proveyó de su máximo esplendor formando ingenieros industriales en las especialidades eléctrica y técnicas energéticas en número superior a 100 alumnos en cada curso, hasta el momento actual, en el

cual el número de alumnos se sitúa en el entorno del 10% de aquellos. Es justo decir que en el último año se ha producido un notable incremento en la matrícula, pero habrá que esperar al menos un par de cursos para ver si se trata de una tendencia al alza o de una fluctuación estadística del fondo.

En estos momentos la universidad española se encuentra inmersa en un nuevo proceso de reforma de las enseñanzas tendente a conseguir una armonización formativa en el contexto europeo cuyo final, al menos hoy, no está completamente definido. Por ello, una buena parte de la estructura formativa que exponemos en el presente artículo desaparecerá o al

menos será modificada en profundidad en un futuro muy cercano de manera todavía desconocida. La situación actual no debiera ir más allá del año 2010.

En la Universidad del País Vasco, actualmente se imparten materias del ámbito de la ingeniería nuclear en todos los niveles formativos: ingeniería técnica, ingeniería superior, máster y doctorado y en todos los Campus de la Universidad.

Referente a las carreras de ingeniería técnica, los aspectos nucleares se trataron a partir de la reforma de los planes de estudio del año 1996 y aparecen en las siguientes titulaciones y asignaturas:

En la titulación de ingeniero técnico eléctrico, se imparte la asignatura "centrales eléctricas I", con un programa que contempla tanto las centrales hidroeléctricas como las nucleares. Esta asignatura se imparte en 3^{er} curso en las Escuelas de San Sebastián, Vitoria y Bilbao con una carga lectiva de 6 créditos. La Escuela de Vitoria imparte además, con una carga de 4,5 créditos, una asignatura denominada "aplicaciones de las radiaciones ionizantes en ingeniería mecánica" orientada a proporcionar formación en técnicas de ensayo no destructivo en la titulación de ingeniero técnico mecánico.

También en la titulación de ingeniero técnico de minas, que se oferta en la Escuela de Baracaldo, y dentro de la especialidad recursos energéticos, combustibles y explosivos, se imparten las asignaturas "ingeniería nuclear" con una carga lectiva de 4,5 créditos y "protección radiológica" con una carga lectiva de 6 créditos.

A nivel de ingeniería superior es en la titulación de ingeniero industrial donde se imparten las asignaturas vinculadas a la ingeniería nuclear.

La estructura formativa de esta titulación contempla un conjunto de especialidades de 30 créditos cada una ubicadas en el último año de carrera. Una de ellas es la denominada ingeniería nuclear que contiene 5 asignaturas de 6 créditos cada una de ellas. Estas asignaturas son: "fundamentos de la ingeniería nuclear", dedicada al estudio de los aspectos de la física nuclear directamente relacionados con la tecnología nuclear, "aplicaciones industriales de las radiaciones", "centrales nucleares", "protección radiológica y seguridad nuclear" y "nuevas fuentes de energía", asignatura esta última muy directamente relacionada, pero no solamente, con la generación de energía por fusión nuclear.

Aunque, como ya se ha comentado previamente, el número de alumnos en esta especialidad no es elevado, sí que cabe señalar la presencia constante y aparentemente en aumento de alumnos extranjeros en ella.

Titulación y asignaturas	Créditos	Curso
<i>Ingeniero Industrial (Intensificación Nuclear)</i>		
Fundamentos de Ingeniería Nuclear	6	5º
Aplicaciones industriales de las radiaciones	6	5º
Centrales Nucleares	6	5º
Protección Radiológica y Seguridad Nuclear	6	5º
Nuevas Fuentes de Energía	6	5º
<i>Ingeniero Técnico de Minas (Especialidad Recursos Energéticos, Combustibles y Explosivos)</i>		
Ingeniería Nuclear	4.5	2º
Protección Radiológica	6	3º
<i>Ingeniero Técnico Industrial (Especialidad Eléctrica)</i>		
Centrales Eléctricas	6	3º
<i>Ingeniero Técnico Industrial (Especialidad Mecánica)</i>		
Aplicaciones de las radiaciones ionizantes en la Ingeniería Mecánica	4.5	3º

Tabla 1: Asignaturas del área de Ingeniería Nuclear en los planes de estudios actuales de primer y segundo ciclo.

A nivel de máster, el presente curso ha dado comienzo un máster titulado "Ingeniería Energética Sostenible" en el que se tratan los diferentes aspectos de la generación nuclear de energía en un contexto amplio en el que se consideran todos los aspectos del abastecimiento energético.

Así, se tratan los "fundamentos de la ingeniería nuclear" en dos asignaturas con orientaciones diferentes dependiendo de que vaya a ser cursada por alumnos vinculados a la tecnología de generación o al abastecimiento de combustibles, cada una de ellas con una carga lectiva de 4 créditos. "centrales nucleares" con una carga lectiva de 8 créditos. "fuentes no convencionales", que contempla la generación de energía por fusión termonuclear con una carga lectiva total de 5,5 créditos. "abastecimiento de recursos" que trata entre otros el abastecimiento y tratamiento de combustibles nucleares con una carga lectiva total de 8 créditos y finalmente, "impacto ambiental" en que trata el impacto de la generación nuclear de energía con una carga lectiva total de 6,5 créditos.

También a nivel de máster, el Departamento de Ingeniería Nuclear y Mecánica Fluidos de esta Universidad participa en el desarrollo del Máster en Ingeniería Nuclear y sus aplicaciones organizado por la Universidad Autónoma de Madrid y el CIEMAT con una asignatura sobre neutrónica con una carga lectiva de 3 créditos y en el Máster en Ingeniería e Instrumentación

Nuclear organizado por la Universidad de Huelva. Así como en el Máster interdepartamental de la Universidad del País Vasco, sobre seguridad e higiene en el trabajo, donde tiene una presencia de 3 créditos.

A nivel de doctorado se imparte un programa titulado Ingeniería Física en colaboración con varios departamentos e institutos de la Universidad en el que, entre un elevado número de asignaturas, próximo a 60, se incluyen las siguientes: "elementos de ingeniería nuclear", "seguridad nuclear", "vigilancia radiológica", asignatura enfocada a los programas de vigilancia radiológica ambiental; "espectrometría de radiaciones ionizantes", que trata aspectos específicos de instrumentación nuclear orientados hacia el desarrollo de los programas de vigilancia; "desarrollo e implantación de programas de garantía de calidad en instalaciones de radiología"; "introducción a la fusión nuclear" y "ciencia y tecnología de materiales de aplicación en fusión termonuclear". Todas ellas con una carga lectiva de 3 créditos. Por último, en este programa de doctorado también se imparte la asignatura "protección radiológica" con una carga lectiva de 6 créditos.

Por razones derivadas del proceso de convergencia europeo este programa de doctorado se imparte el presente año académico por última vez y será reemplazado por un máster con acceso a doctorado que se encuentra en estos momentos en fase de elaboración. ■