

MÁSTERES CON FORMACIÓN NUCLEAR EN ESPAÑA

Los estudios de Máster han sido habitualmente la forma de complementar la formación obtenida en el área de interés del profesional. Actualmente existen una gran diversidad de másteres según los objetivos. En este artículo se incluyen algunos de los cursos que tradicionalmente han formado a los especialistas nucleares y también algunos que han nacido gracias a las nuevas titulaciones que están apareciendo debido a la convergencia europea. Estos estudios tienen enfoques distintos y también alcances distintos pero todos ellos incluyen una formación de excelencia en el área nuclear que es básica para los profesionales que aspiren a alcanzar puestos de alto nivel en alguno de los campos de este sector.

The Master studies have been classically the way of complement the education obtained in the interest area of the professional. Nowadays there are a great variety of Master courses depending of the objectives. In this article are included some of the courses that traditionally have prepared to the nuclear specialists and also some of the ones that are appearing due to the European convergence. These studies have different focus and also different extension but all of them include an education of excellence in the nuclear area that is basic for the professionals that want to reach high level jobs in some of the fields of the sector.

Máster oficial de Ciencia y Tecnología Nuclear de la UPM. Evolución de un programa consolidado

Diana Cuervo

El Máster de Ciencia y Tecnología Nuclear pertenece al Programa de Postgrado Oficial que ofrece la Universidad Politécnica de Madrid.

El Programa tiene como principal objetivo académico la capacitación para el desarrollo de las metodologías de simulación, de diseño y de análisis avanzado necesarios en la investigación en el área de la ciencia y la tecnología nuclear, esto es, de los reactores de fisión y de fusión nuclear, incluyendo aspectos de sus ciclos de combustible y de seguridad. El Programa recoge tanto los contenidos básicos disciplinares, como los de desarrollo tecnológico en las diferentes áreas que dicho objetivo comprende. El Programa es la base de partida para iniciarse en las líneas investigadoras del Departamento.

El Programa de Postgrado en "Ciencia y Tecnología Nuclear" combina un máster de investigación y un programa de doctorado, que dan lugar, respectivamente, a los títulos:

1. Máster en "Ciencia y Tecnología Nuclear"
2. Doctor por la Universidad Politécnica de Madrid, en el Programa de Doctorado de "Ciencia y Tecnología Nuclear"

Para obtener el título de doctor en esta materia es requisito imprescindible haber cursado un máster con objetivo investigador como el que se describe.

El área de la Ciencia y la Tecnología Nuclear es especialmente activa en su contenido investigador, ya que incluye actividades, metodologías y sistemas en continuo desarrollo.

Las materias que se incluyen en este Máster son las que se consideran necesarias para investigar sobre:

- Desarrollo de los reactores avanzados de fisión nuclear, con unos requisitos nuevos de sistemas de seguridad pasiva, combustible no-proliferante, de quemado de actínidos y de transmutación de residuos radiactivos, además de los de diseño de alta temperatura para producir hidrógeno.
- Desarrollo de sistemas de fusión nuclear en sus versiones de confinamiento magnético e inercial, junto las metodologías para la simulación numérica.
- Aceleradores de partículas y su utilización en la investigación física, y sus aplicaciones en la medicina e industria.

Todas ellas requieren una gran profundización en las capacidades de desarrollo de metodologías de simulación y de diseño, siendo por tanto necesario para trabajar en ellas que la Universidad disponga de la capacidad formativa especializada en esas áreas.

El perfil de ingreso es el de titulados superiores o medios en ingeniería industrial, naval o minas, o licenciados en ciencias físicas y químicas. También

pueden ser admitidos otros ingenieros o titulados a criterio de admisión de la Comisión de Máster. Para realizar los estudios de doctorado es necesario poseer el título de Máster en Ciencia y Tecnología Nuclear. La estructura de los estudios del Máster es la siguiente:

- **1º Curso (adaptación): 55 ECTS optativos (a seleccionar de una oferta de 74,9 ECTS)**

Se ofertan 74,9 ECTS en asignaturas optativas seleccionadas de entre las que se imparten en las titulaciones de "Ingeniero Industrial" e "Ingeniero Naval", de los que habrá que seleccionar 55 ECTS. Estas asignaturas facilitarán e igualarán niveles en el área de conocimiento para alumnos procedentes de diversas titulaciones de Grado de distintas universidades españolas y extranjeras.

- **2º Curso: 35 ECTS obligatorios + 30 ECTS Proyecto Fin de Máster**

Los estudios de doctorado en este área requieren haber cursado el Máster que se propone, así como el desarrollo de un trabajo de tesis doctoral. Éste consistirá en la realización de un trabajo de investigación original, que esté respaldado por la publicación de algún artículo en una revista con reconocimiento internacional, y con revisores previos a su aceptación.

Las líneas específicas de investigación en el departamento son:

- Diseño del núcleo de reactores PWR.
- Simulación numérica de sistemas de



Figura 1: Simulador Gráfico Interactivo de CN José Cabrera

- transmutación.
- Simulación numérica de plasmas de fusión inercial.
- Diseño de cámaras de reacción de reactores de fusión.
- Simulación numérica de fluidos .
- Diagnóstico de plasmas.
- Análisis de precursores de accidentes en CN.
- Fiabilidad.
- Análisis de accidentes severos en reactores de agua ligera.
- Análisis del impacto radiológico y económico de los escapes radiactivos.
- Sistemas de evaluación para la recuperación ambiental de entornos contaminados con sustancias radiactivas.
- Análisis de la seguridad de almacenamiento de residuos radiactivos.
- Análisis del comportamiento del combustible nuclear de alto quemado.
- Dosimetría neutrónica.

La Dirección de las Tesis Doctorales es realizada por los profesores doctores del Departamento, y se admite la Dirección de Tesis compartida con investigadores de otros centros nacionales o internacionales.

El profesorado está formado por profesores miembros del departamento con título de doctor con la colaboración de expertos en las distintas materias provenientes de otras universidades y centros

de investigación. Además se ofrecen cada curso algunos Seminarios sobre temas específicos con profesores invitados nacionales y extranjeros, procedentes de centros de investigación u otras universidades.

El Programa tiene como principal objetivo la capacitación para el desarrollo de las metodologías de simulación, de diseño y de análisis avanzado necesarios en la investigación y el trabajo profesional, en el área de Ciencia y la Tecnología Nuclear, esto es, de los reactores de fisión y de fusión nuclear, incluyendo aspectos de sus ciclos de combustible y de seguridad. El Programa recoge tanto los contenidos básicos disciplinares, como los de desarrollo tecnológico en las diferentes áreas que dicho objetivo comprende.

En cuanto a la metodología docente consiste en clases presenciales apoyadas por el material didáctico necesario para el seguimiento de la materia: transparencias, vídeos, artículos científicos, casos prácticos resueltos. De cada materia impartida se suministrará bibliografía para la ampliación de estudios. Se utilizarán en las actividades prácticas las herramientas de simulación más avanzadas de que disponga el Departamento para sus fines investigadores. En alguno de los trabajos prácticos el alumno ten-

drá que proveerse personalmente de la bibliografía que considere pertinente y haya sido capaz de encontrar.

El alumno tendrá acceso a:

- Aula para clases teóricas con audiovisuales (cañón, proyector).
- Biblioteca del Departamento de Ingeniería Nuclear.
- Sala de ordenadores para alumnos.
- Laboratorio de Ingeniería Nuclear.
- Aula "José Cabrera", con simulador gráfico-interactivo de central nuclear. Convenio Unión Fenosa.

En general, las asignaturas se evaluarán a criterio del profesor responsable en cada caso. Se asignará un peso al examen escrito, y otro a la participación en los trabajos prácticos. En estos trabajos, se valorará la capacidad del alumno para estructurar, presentar y desarrollar un proyecto investigador, así como el que den lugar a informes escritos.

El Proyecto Fin de Máster tendrá que completarse con la redacción del informe correspondiente y su presentación oral, valorándose también en este caso la habilidades demostradas en la forma de realizar dicha presentación. Asimismo se valorarán las respuestas a las preguntas formuladas que surjan como consecuencia de su presentación.

El coste de éste Máster es el oficial aprobado por la Comunidad de Madrid. El precio del crédito es de 28,95 euros, por lo que el precio del Máster sería de 1881,75€ para los 65 créditos obligatorios.

Se solicitarán becas a través de las Convocatorias Públicas del Ministerio Educación y Ciencia (becas FPI, FPU), de la CICYT, de la Universidad, y de proyectos europeos (EURATOM). También se contará con la financiación mediante acuerdos con centros de investigación nacionales (CIEMAT) o extranjeros (LLNL, Livermore, Max Planck, etc.), con el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) a través de la Cátedra "Federico Goded", o con empresas (ENRESA, ENDESA, UNESA y centrales nucleares). También hay alumnos extranjeros que son becados por agencias de sus países de origen.

Pueden acceder al Máster los titulados superiores o medios. A los ingenieros industriales, navales y de minas, y los licenciados en ciencias físicas y químicas, se les convalidarán algunas asignaturas según lo cursado en sus estudios previos. Para el resto de las titulaciones de Grado, se valorará dependiendo del programa de estudios de cada titulación. Según su procedencia se convalidarán créditos ECTS de las materias optativas.

Este Programa de Postgrado es la adaptación al nuevo marco legislativo

Programa de Doctorado				
Curso	Alumnos matriculados	Horas profesores	Tesis	Premios extraordinarios
2003-2004	14	450	9	1
2004-2005	13	450	3	2
2005-2006	15	450		
2006-2007	20	450	3	1

Tabla 1: Cifras de alumnado en el programa de doctorado de Ciencia y Tecnología Nuclear.

del Programa de Doctorado en "Ciencia y Tecnología Nuclear", con Mención de Calidad de la ANECA concedida para el curso 2003-2004 (MCD2003-00293) y renovado en los cursos 2004-2005 y 2005-2006.

Los doctorandos que han seguido este Programa de Doctorado a lo largo de una década, han obtenido normalmente financiación para la realización de su trabajo de tesis doctoral, a través de las Convocatorias Públicas del Ministerio Educación y Ciencia (becas FPI, FPU), de la CICYT, de la Universidad, y de proyectos europeos (EURATOM). También mediante contratos

con centros de investigación nacionales (CIEMAT) o extranjeros (LLNL, Linceil, Max Planck), con el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), o con empresas (ENRESA, ENDESA, UNESA y centrales nucleares). Esto demuestra el interés que tiene esta área investigadora, que se presenta como fundamental para el futuro de las aplicaciones energéticas e industriales de la energía nuclear de fisión y de fusión donde se encuentran muchas líneas abiertas de trabajo e investigación, con distintos conceptos de futuro por evaluar y desarrollar.

En la tabla 1 se muestran los datos de alumnos matriculados en cada curso en

el programa de doctorado origen de este Máster, el número de tesis leídas y de premios extraordinarios de tesis obtenidos.

Cada curso unos 5 alumnos han obtenido en media el Diploma de Estudios Avanzados que acreditaba, hasta la implantación de los estudios de máster, la finalización de los créditos de docencia y trabajos tutelados requeridos para el título de Tercer Ciclo. Algunos alumnos proceden de otras universidades (españolas o extranjeras), y algunos se encuentran ya trabajando en centros de investigación (CSIUC, CIEMAT, INTA) o en empresas privadas. ■

Máster en Ingeniería Nuclear y aplicaciones: estado actual y perspectivas

Luis E. Herranz¹, J.C. García Cuesta¹, S. Falcón¹, M. Marco¹ y J.A. Casas²

Los autores de este artículo trabajan en las siguientes instituciones:

¹Centro de Investigaciones Energéticas MedioAmbientales y Tecnológicas, CIEMAT.

²Universidad Autónoma de Madrid, UAM.

INTRODUCCIÓN

El día 6 de octubre tuvo lugar la inauguración de la primera edición del **Máster en Ingeniería Nuclear y Aplicaciones (MINA-2008)**. Título Propio de la Universidad Autónoma de Madrid (UAM). MINA-2008 está organizado conjuntamente por ésta y CIEMAT y ha contado, desde sus comienzos, con una gran colaboración de empresas e instituciones del sector nuclear español, algunos de cuyos representantes estuvieron presentes en el evento.

MINA-2008 es el resultado de tres realidades indiscutibles: la vasta experiencia de CIEMAT en la formación de profesionales nucleares, con una tradición de casi cuatro décadas docentes; la experiencia académica de la UAM; y, no menos importante, la adaptación de anteriores formatos docentes a las necesidades planteadas por el renacimiento nuclear que está teniendo lugar en el mundo.

El presente artículo complementa al publicado en Nuclear España, en mayo de 2008 (*MINA 2008: una vía de profesionalización en Ingeniería Nuclear*), ofreciendo una visión más pragmática de los principios y fundamentos sobre los que se ha desarrollado MINA-2008 y que allí se presentaron. Asimismo, se ofrece una breve reseña sobre las expectativas de evolución del Máster en curso y las gestiones en marcha para

la preparación de la siguiente edición (MINA-2009).

PLANTEAMIENTO Y ESTRUCTURA

MINA-2008 nació con vocación profesionalizante. Su objetivo último es dotar a sus participantes de conocimientos y capacidades que les permita convertirse en profesionales productivos de modo inmediato en cualquier empresa y/o institución del sector. Para ello se exploraron las necesidades actuales en este ámbito y, de acuerdo con ellas, se diseñó el programa temático, donde se ha distinguido entre materias prioritarias (60-90 h; 6 créditos), fundamentales (40-60 h; 4 créditos) y complementarias (10-30 h; 2 créditos). Su agrupación en áreas temáticas ha facilitado la orquestación temática que aparece en la figura 1.

Estructuralmente, MINA-2008 está dirigido y coordinado conjuntamente por el CIEMAT y la UAM. No obstante, la cooperación con el sector nuclear ha sido amplia y continua. Desde el principio, todas las universidades nacionales con competencias en materia nuclear fueron llamadas a participar con el fin último de su incorporación a este proyecto formativo en la mayor medida posible. Asimismo, industria e instituciones, tales como ENRESA, CSN y ENUSA, fueron invitadas y un número elevado de ellas han respondido positivamente. El

resultado final ha sido la enorme implicación del sector en todo el desarrollo del Máster, desde la generación de temarios específicos de asignaturas a su impartición. De hecho, se establecieron grupos de expertos para la definición y orientación de cada uno de los módulos de los que consta el máster a las tendencias del sector. Aún más importante si cabe, los Proyectos Fin de Máster se han dirigido a la realidad actual de industria e instituciones nucleares nacionales. Con el fin de lograr la máxima integración con el sector, MINA-2008 ha sido presentado en varias ocasiones a diversos órganos del Comité Estratégico para la Investigación y el Desarrollo en Energía Nuclear (CEIDEN), quien lo ha adoptado como una de sus actividades formativas.

El carácter profesionalizante pretendido en MINA-2008 queda claramente reflejado en la importancia concedida a los Proyectos Fin de Máster. Con una duración aproximada de 500 h (un tercio del tiempo total contemplado en MINA-2008), existen definidos más de 20 proyectos distintos, un buen número de los cuales han sido propuestos y serán dirigidos por profesionales de la industria nuclear en líneas de trabajo vigentes en la actualidad. Los alumnos habrán de elegir uno de ellos y realizarlo de forma individual. De este modo se

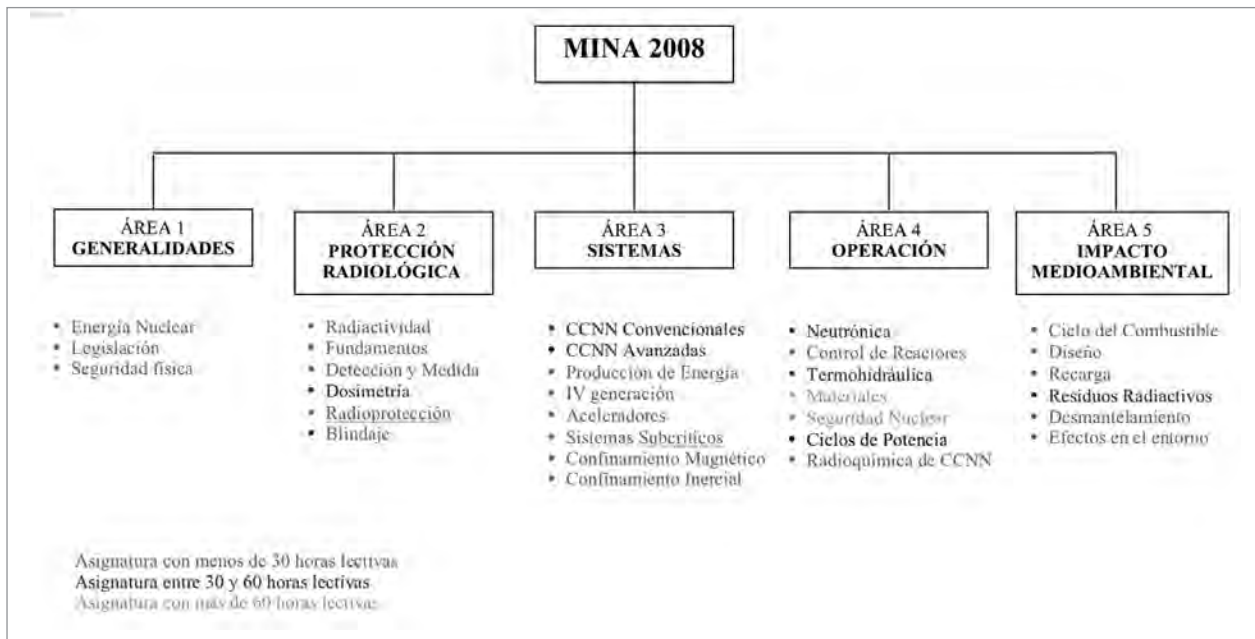


Figura 1: Estructura del Máster MINA y su división en módulos.

	TEMA	Número de Proyectos	RESPONSABLES
ÁREA 2	Detección y Medida de la Radiación	3	ENRESA (2), U. P. MADRID (1)
	Dosimetría	3	U. A. BARCELONA (2), U. P. MADRID (1)
ÁREA 3	Producción de Energía	3	GE (1), IBERDROLA (1), U. CANTABRIA (1)
	Centrales Avanzadas	1	GE (1)
ÁREA 4	Materiales	2	ENSA(1), U. CANTABRIA (1)
	Termohidráulica	2	U. CANTABRIA (1), ENUSA (1)
	Neutrónica	1	ENSA (1)
ÁREA 5	Diseño del Combustible	5	IBERDROLA (3), ENUSA (2)
	Ciclo del Combustible	1	IBERDROLA (1)
	Recarga del Combustible	1	ENUSA (1)
	Desmantelamiento	5	ENRESA (4), U. CANTABRIA (1)

Tabla 1: Distribución de los Proyectos del Máster y empresas e instituciones proponentes.

consigue un doble objetivo: hacer del proyecto un período de entrenamiento en temas, técnicas y/o herramientas “vivas” y facilitar la interacción directa entre el futuro profesional y una empresa y/o institución del sector. En la tabla 1 aparece la distribución de proyectos ofertados, estructurados en las áreas y temas desarrollados en el máster, así como las empresas o instituciones proponentes.

De lo dicho anteriormente, se concluye que los resultados esperables de cursar MINA son: el título de Máster, título propio de la UAM, y el inicio de actividades tuteladas en una empresa o institución relevante dentro del sector nuclear. El interés del sector por los participantes en el Máster se ha visto reflejado en las becas otorgadas por organismos públicos y privados, así como en la propuesta de numerosos proyectos fin de Máster.

Con objeto de lograr excelencia académica y un elevado perfil profesional,

MINA-2008 sigue la normativa existente en la UAM, desarrollando las guías docentes del propio Máster. Asimismo, se ha diseñado un procedimiento de evaluación donde, de acuerdo con el criterio de maximización de la importancia del proyecto, éste tiene una ponderación del 50% de la calificación final del Máster. Además, el método de evaluación propuesto para el proyecto garantiza el tratamiento ecuaníme de todos ellos, a través de una regulación general para puntuar contenido, presentación y defensa. Para ello se establecerán tribunales en los que participarán tanto el director del proyecto como los directores del Máster por la UAM y por el CIEMAT.

ALUMNADO

La presente edición de MINA cuenta con 14 alumnos matriculados en todas

las asignaturas y un número variable (hasta 6) que asisten a algunas de ellas. El 40% de los primeros, aproximadamente, goza de una beca total, y el 25% cuenta con una ayuda parcial de media cuota. Estas ayudas se verán cumplimentadas con incentivos económicos que se concederán durante la realización de los proyectos en empresas e instituciones.

Un buen número de los alumnos que cursan el Máster proceden de las universidades que colaboran en él. Su formación es variada: 8 licenciados en C.C. Físicas, 5 Ingenieros de distintas especialidades y un licenciado en C.C. Químicas. Su procedencia también

es dispar; mayoritariamente proceden de Madrid (5) y el resto de Cantabria, Valladolid, Barcelona, Salamanca y Málaga. También hay tres alumnos de fuera de nuestras fronteras; dos de ellos procedentes de países hispano-hablantes como Colombia y Chile, y un tercero de Italia, pero con un dominio adecuado del idioma español. Los alumnos matriculados en asignaturas sueltas son profesionales del sector cuyas empresas y organismos (ENUSA y CIEMAT), consideran de interés su participación.

TENDENCIAS Y PERSPECTIVAS

Actualmente se están considerando diversas iniciativas de carácter integrador para futuras ediciones de MINA. El fin, común a todas ellas, es optimizar y potenciar los recursos docentes disponibles, evitando duplicaciones innecesarias y fortaleciendo la articulación académica.

Algunos cursos especializados que actualmente están establecidos de forma independiente en temáticas alineadas con las impartidas en MINA, podrían incorporarse a futuras ediciones. MINA-2008 ya ha actuado así con el primer curso de Dosimetría Neutrónica.

Además, la naturaleza modular de MINA permite identificar asignaturas concretas comunes con otros másteres impartidos en el área de la energía y, en particular, de la energía nuclear. Esta identificación permitiría reconocer materias específicas a efectos de convalidación, si se diera el caso o, incluso, combinar recursos y desarrollar la docencia

de modo conjunto. En el primer caso estarían algunas asignaturas impartidas en el Máster en Tecnología Energética para Desarrollo Sostenible de la UPV. En el segundo, el curso sobre Residuos Radiactivos promovido por ENRESA, que organizan conjuntamente CIEMAT y UPM, es paradigmático. Este curso, de gran especialización y prestigio, está reconocido como asignatura dentro del Máster en Ciencia y Tecnología Nuclear de la UPM y ha sido igualmente adoptado dentro de la edición 2008 de MINA.

Actualmente se están explorando las posibilidades de hacer de futuras edicio-

nes de MINA un máster inter-universitario que, además de ser título propio de la UAM, lo sea también de otras universidades. Dada la dificultad de la aprobación y ulterior gestión de los acuerdos pertinentes, se ha decidido abordar esta iniciativa de forma paulatina. Por el momento se han establecido contactos con la Universidad del País Vasco (UPV/EHU) y la Universidad Politécnica de Valencia (UPV).

El objetivo final de todas estas actuaciones es establecer un título vivo y claramente enfocado a satisfacer las necesidades vigentes de la industria nuclear nacional. ■

Máster en Tecnologías de Generación de Energía Eléctrica

E. Mínguez, F.J. Sánchez y F.J. Calle

PRESENTACIÓN

El máster en "Tecnologías de Generación de Energía Eléctrica", es un máster Propio de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), que se realiza en parte en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (ETSII) de la UPM, en colaboración con TECNATOM y ACCENTURE, con el patrocinio de ENDESA, IBERDROLA y UNIÓN FENOSA, y con la subvención recibida por parte del Consejo de Seguridad Nuclear para el Módulo de Generación Nuclear en las ediciones pasadas. Es un programa formativo para postgrados, que ofrece a los alumnos una profunda visión de las principales tecnologías de

generación de energía eléctrica, así como de la operación y el mantenimiento de dichas instalaciones.

Tras el éxito y la demanda que ha generado entre los profesionales y las empresas del sector, en las siete ediciones anteriores, un año más se pone en marcha este programa, en un momento de importantes expectativas, para las que el Sector Eléctrico va a necesitar, cada vez más, jóvenes profesionales que sean capaces de aportar valor a organizaciones nacionales o internacionales en el ámbito de la generación de la energía eléctrica.

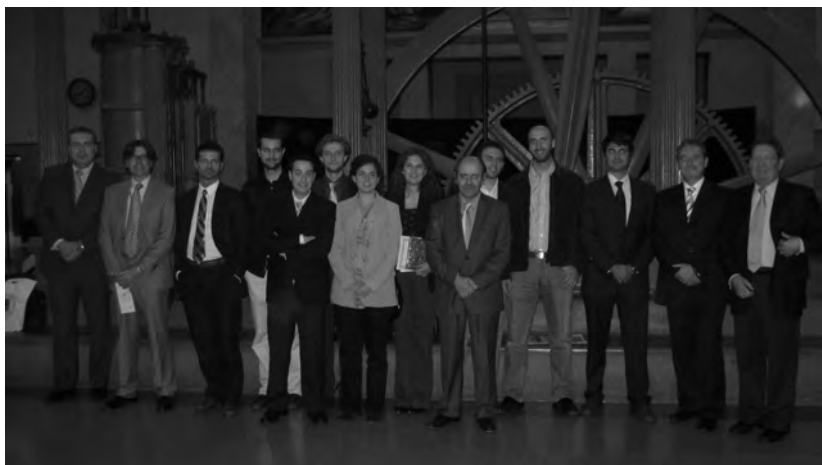
La formación presencial impartida aborda actividades teóricas y prácticas, propias tanto del ámbito académico y

científico de la ETSII como del entorno laboral de TECNATOM, con la utilización de sus instalaciones y sus medios didácticos avanzados, tales como los simuladores y las aulas taller. Esta formación se complementa con visitas a centrales eléctricas, con participación en conferencias impartidas por expertos reconocidos en el mundo de la energía y concluye con la realización de un proyecto fin de máster.

Además de la formación técnica que se imparte, el máster proporciona también una sólida base en el ámbito de la gestión, tanto económico-financiera como de los recursos humanos.

En esta octava edición, el máster presenta como novedad la ampliación en el alcance del Módulo de Generación Nuclear, que prácticamente duplica su duración respecto a ediciones anteriores, pasando de 112 a 206 horas lectivas. Esta nueva orientación del máster surge como respuesta a la demanda actual, que tiene el mercado laboral, de técnicos con buena formación en materia de Tecnología Nuclear.

En línea con dar al Módulo de Generación Nuclear una mayor relevancia dentro del programa máster, la conferencia inaugural de esta última edición fue impartida, el pasado 20 de octubre en la ETSII de la UPM, por D. Santiago San Antonio, Director General de FORATOM, con el título de "Energía nuclear en Europa: situación actual y perspectivas de futuro".



Alumnos de la 7ª promoción durante el acto de clausura.



Alumnos de la 6ª promoción durante la visita al simulador de CN Ascó.

OBJETIVOS

El objetivo fundamental del máster es proporcionar una formación avanzada al personal técnico de aquellas organizaciones nacionales e internacionales de generación de energía eléctrica, con especial énfasis en la generación nuclear. Con dicha formación podrán planificar las nuevas unidades de generación, operar y mantener las actuales y también podrán abordar aquellas nuevas tendencias energéticas, que como consecuencia de la innovación tecnológica se puedan desarrollar a corto y medio plazo.

Así mismo, se completa con un avanzado conocimiento de las directivas necesarias para el manejo adecuado y eficiente de los procesos relacionados con el mundo energético.

MÉTODO

El máster en "Tecnologías de Generación de Eléctrica" se ha diseñado como un ciclo de aprendizaje basado en la experiencia, de manera que los alumnos asistentes adquieran los conocimientos siguiendo un proceso gradual, que parte de la teoría básica, continua con la tecnología aplicada a los diferentes sistemas de la central de generación y se afianza con las prácticas de operación en el simulador.

Las visitas a las centrales de generación permiten adquirir un punto de vista ajustado a la realidad y representa una primera toma de contacto con el sector.

Por último, las conferencias debate, por parte de los expertos de reconocido prestigio en el Sector Eléctrico, aportan el estado del arte en las diferentes áreas y están diseñadas para que los asistentes

expongan su propio punto de vista sobre los temas tratados.

PROGRAMA

El máster tiene una duración total de 850 horas, un año académico de octubre a junio, de las que 658 horas son de carga lectiva, 54 horas corresponden a visitas a centrales de generación, 38 horas se distribuyen diferentes conferencias y mesas redondas con expertos del Sector Eléctrico y 100 horas corresponden al proyecto fin de máster.

El programa del máster se estructura en ocho Módulos cuya duración se detalla a continuación:

- Módulo 1: Fundamentos de la generación eléctrica (39 h)
- Módulo 2: Tecnología de la generación nuclear (206 h)
- Módulo 3: Tecnología de la generación térmica (171 h)
- Módulo 4: Tecnología de la generación hidráulica (25 h)
- Módulo 5: Energías renovables (25 h)
- Módulo 6: Generación y distribución de energía eléctrica (48 h)
- Módulo 7: Gestión del mantenimiento (25 h)
- Módulo 8: Gestión económico-financiera y habilidades directivas (119 h)

A continuación se incluyen las 12 áreas del programa del Módulo de Generación Nuclear, que está previsto que en un futuro próximo, tenga categoría de Curso Propio de Especialización de la Universidad Politécnica de Madrid.

- 1.- Fundamentos de operación del reactor.
- 2.- Descripción tecnológica de sistemas de central PWR.
- 3.- Prácticas de operación con simulador de central PWR.

- 4.- Diferencias fundamentales con una central BWR.
- 5.- Ciclo del combustible.
- 6.- Fusión nuclear.
- 7.- Modelos de simulación de la operación.
- 8.- Introducción a los reactores avanzados.
- 9.- Introducción a la seguridad nuclear. Métodos de evaluación.
- 10.- La cultura de seguridad.
- 11.- Introducción a la protección radiológica.
- 12.- Desmantelamiento.

EVALUACIÓN

Durante el proceso de desarrollo del curso se establece un sistema de seguimiento continuo e individualizado, con pruebas de evaluación en cada uno de los diferentes Módulos en los que se divide el máster.

Al finalizar el máster los participantes realizan y defienden ante un tribunal el proyecto fin de máster.

La nota final del curso es la media ponderada de las notas obtenidas en cada uno de los Módulos y en el proyecto fin de máster.

A QUIEN SE DIRIGE

El máster en Tecnologías de Generación de Energía Eléctrica va dirigido a postgrados tanto de Grado Superior como Medio en Ingeniería Industrial, Minas, Naval y Química así como a Licenciados en Ciencias Físicas y Químicas.

En esta octava edición se encuentran matriculados 18 alumnos, a los que hay que sumar otros 30 profesionales, procedentes del mundo de la empresa, que realizan solo el Módulo de Generación Nuclear.

BOLSA DE EMPLEO

Al finalizar el máster, y en función de los resultados obtenidos, hay una gran posibilidad de incorporación a algún puesto técnico o directivo de una empresa del Sector Eléctrico.

Actualmente los graduados, de todas las promociones del máster, están trabajando mayoritariamente en empresas del Sector Eléctrico e Ingenierías. A continuación se presentan algunas de las empresas más representativas: ENDESA, IBERDROLA, UNIÓN FENOSA, HIDROCANTÁBRICO-EDP, VIESGO-ENEL, Acciona Energía, Asociación Nuclear Trillo-Almaraz, Asociación Nuclear Ascó-Vandellós, Central Nuclear de Cofrentes, ENUSA, REE, IBERINCO, INITEC, Empresarios Agrupados, Técnicas Reunidas y TECNATOM. ■

Máster universitario en Ingeniería de la Energía

Carol Anherth

El Máster Universitario en Ingeniería de la Energía (IE) tiene como principal objetivo académico suministrar la formación adecuada y de alto nivel a los futuros profesionales que van a ejercer su profesión en el área de la ingeniería de los procesos desde las fuentes de energía y su generación para sus distintas aplicaciones, a las tecnologías y sistemas para su transformación en energía mecánica, térmica o eléctrica; suministrando, además, la formación adecuada para desarrollar tecnologías y sistemas innovadores para su uso eficiente y sostenible. Como planteamiento general se trata de centrar la formación de los ingenieros de alto nivel en los procesos que tienen lugar desde las fuentes de energía, pasando por los combustibles y vectores energéticos, hasta el nivel del usuario del servicio de la energía mecánica o térmica final. Es decir, procesos y máquinas; y su organización, gestión y costes, no solo como profesionales del sector sino también como investigadores del presente y futuro de la energía. Se tratarán en detalle las nuevas tendencias en este campo como: las energías solar y eólica en sus diversas formas, la nueva energía nuclear, la cogeneración (electricidad y calor) y los sistemas innovadores, eficientes y sostenibles, desde una óptica de asigna-

turas fundamentales de corte horizontal y asignaturas de aplicación de corte vertical como centrales térmicas, ingeniería nuclear, combustibles fósiles, energías renovables y gestión de mercados energéticos, todo ello desde una perspectiva medioambiental y de sostenibilidad. El máster recoge tanto los contenidos básicos disciplinares, como los de desarrollo tecnológico en las diferentes áreas que dicho objetivo general comprende.

Todos estos objetivos se desarrollan dentro de un único máster profesional cuyo título es Máster Universitario en Ingeniería de la Energía, pero para responder a dichas premisas este máster universitario dispone de cinco intensificaciones, acordes con las diferentes labores profesionales y tendencias del sector: Energía Nuclear, Energía y Medio Ambiente, Energías Renovables, Gestión y Mercados Energéticos y Energía del Gas, Petróleo y Carbón. El máster ha sido desarrollado mediante la colaboración de las Escuelas Técnicas Superiores de Ingeniería Industrial y de Minas y la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial, todas ellas de la Universidad Politécnica de Madrid, y sus contenidos serán impartidos por distintos departamentos de las mencionadas escuelas, todos ellos con una gran experiencia en la formación de

técnicos superiores o especialistas en el área. En concreto, el Departamento de Ingeniería Nuclear de la UPM imparte los contenidos de la intensificación en Energía Nuclear.

El Máster Universitario en Ingeniería de la Energía ha sido concebido para ofrecer itinerarios de formación adecuados a las necesidades profesionales objetivo que incluye desde profesionales del mundo de la ingeniería a los de las ciencias físicas y químicas. En todos los casos los contenidos y la metodología seguida son los apropiados a los conocimientos de base propios de cada perfil profesional y a los conocimientos y habilidades pretendidos. En general, se pretende que cada alumno egresado del Máster mantenga esencialmente el campo de actividad profesional genérica correspondiente a su formación de entrada, siendo la misión del Máster aportar aquellos paquetes de formación necesarios para complementar esta formación de acuerdo con perfiles profesionales específicos afines. No se descarta sin embargo que algunos alumnos puedan concebir y utilizar el Máster para una reorientación de sus campos de actividad profesional.

El plan de estudios ofrece un conjunto de 60 créditos ECTS de Complementos Formativos para igualar niveles en las materias que se consideran previas a las especializaciones del máster universitario que se propone, para estudiantes procedentes de estudios de Grado de distintas universidades españolas o extranjeras.

Posteriormente se ofrecen otros 60 créditos de asignaturas fundamentales divididas en tres bloques, 21 créditos de asignaturas comunes, 27 créditos de asignaturas de intensificación y los restantes 12 créditos del trabajo Fin de Máster, dirigido a abordar la solución de problemas importantes en el ámbito industrial o medioambiental.

Particularmente, pueden acceder al Máster Universitario los siguientes titulados: ingenieros de minas; industrial; químico; caminos, canales y puertos; naval; agrónomos y aeronáuticos; así como los titulados en las ingenierías técnicas de minas; industriales; obras públicas; aeronáuticos; agrícolas y navales.

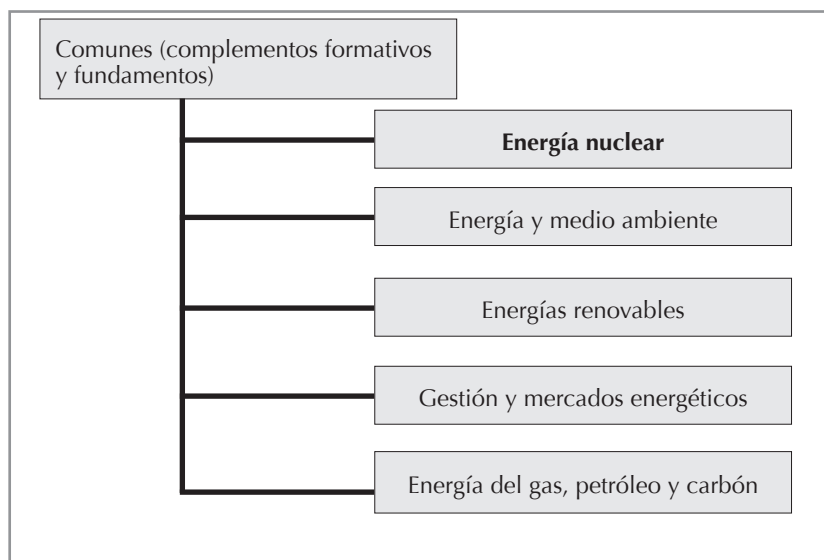


Figura 1: Estructura de módulos.

Los ingenieros de minas, industriales, caminos, canales y puertos, agrónomos y navales, que hayan realizado como especialidad o intensificación una del área energética, podrán solicitar la convalidación de las asignaturas equivalentes y obtener la titulación en un tiempo inferior a dos años.

Para el resto de las titulaciones de Grado, se valorará dependiendo del plan de estudios de cada titulación. Según su procedencia se convalidará créditos ECTS de las distintas materias, pudiendo asimismo obtener la titulación en menos de dos años.

Este Máster se estructura en cuatro módulos denominados: complementos formativos, fundamentos, intensificación y trabajo Fin de Máster.

El primer módulo, completamente incluido en el primer año, esta dedicado a facilitar a los alumnos el acceso a las materias propias del Máster en IE, proporcionando los conocimientos necesarios en función de la formación previa en los mismos. Dependiendo de la vía de acceso, se deben cursar hasta un máximo de 60 créditos dentro de una oferta de 60 créditos.

El segundo módulo, son las asignaturas comunes, en total 21 créditos, a todos los itinerarios del título.

El tercero son las obligatorias y optativas de especialidad, que totalizan 27 créditos.

El módulo de Trabajo Fin de Máster, de 12 créditos, también es obligatorio para todos los alumnos. Consiste en la elaboración de un trabajo bajo la dirección de un profesor del Máster.

Para sacar el máximo partido de esas herramientas se han definido itinerarios a partir del conjunto resultante de la agregación de las materias de los perfiles profesionales objetivo. De esta forma, además, el Máster en Ingeniería de

la Energía es especialmente interesante para personas provenientes del entorno de las ciencias físicas y químicas que busquen un entrenamiento concreto en tecnologías concretas, y permite configurar formaciones para necesidades no contempladas en los perfiles analizados.

Con estos criterios se configuran finalmente los cinco itinerarios o intensificaciones del Máster Universitario en Ingeniería de la Energía, que pueden verse en la figura 1.

Aparte de la orientación profesional de las asignaturas propuestas, una de sus particularidades es que, en general, el número de alumnos es reducido, de modo que permite aplicar metodologías que no serían adecuadas en grupos muy numerosos. Entre ellas cabe destacar la utilización por parte de los alumnos de herramientas de diseño avanzadas, para la implementación, desarrollo y aplicación experimental de los conceptos teóricos.

En todas las asignaturas del Máster se intenta dar un peso especial a la participación activa del alumno, desarrollando ejemplos concretos, utilizando el máximo número de recursos computacionales, herramientas de diseño y experimentación práctica posible.

Asimismo, se fomentarán el uso de bibliografía especializada y actualizada, basando el aprendizaje en la consulta de artículos científicos sobre temas específicos de la materia a estudiar. De esta manera se orientará al alumno al estudio basado en la investigación y en la búsqueda bibliográfica.

El aprendizaje combina las clases teóricas clásicas, basadas en explicaciones en el aula, con la realización de trabajos de laboratorio sobre simuladores y prototipos reales. Para facilitar la comunicación con los alumnos se utilizarán herramientas informáticas de ayu-

da y de gestión docente (tipo Moodle) donde los alumnos podrán encontrar el material didáctico necesario para el seguimiento de las asignaturas (copias de transparencias, artículos científicos, resúmenes, colecciones de ejercicios, etc.).

Las asignaturas se evaluarán basándose en diferentes criterios. Cada uno de ellos tendrán un peso diferente en función de la asignatura concreta y a elección del profesor responsable de la misma. Se pretende que la participación de los alumnos sea activa tanto por la asistencia a las clases teóricas como en su participación, en la realización de trabajos prácticos individuales o en grupo.

Se valorará en los trabajos prácticos que den lugar informes escritos, la capacidad del alumno para estructurar, presentar, y desarrollar un proyecto investigador.

El Trabajo Fin de Máster tendrá que completarse con la redacción del informe correspondiente, y su presentación oral, valorándose también en este caso la habilidades, demostradas en la forma de realizar esa presentación, así como las respuestas a las preguntas que surjan durante la misma.

Como ya se ha mencionado, el aprendizaje combina las clases teóricas clásicas, con la realización de trabajos de laboratorio. La comunicación con los alumnos se hará con herramientas de ayuda y de gestión (tipo Moodle) y otras TIC con lo que será posible el seguimiento de las asignaturas mediante la difusión de documentos y la transmisión bi-direccional de datos para el desarrollo de enseñanza en Internet.

Las clases del Máster se impartirán en castellano o inglés, dependiendo del origen de los estudiantes, para facilitar su integración. ■



CENTRALES NUCLEARES 2008

experiencias y perspectivas

25 de febrero 2009

Salón de Actos
de la Escuela Técnica Superior
de Ingenieros Industriales (Madrid)

Tras la Jornada se celebrará la Asamblea General de la SNE