

MINA-2008: una aproximación renovada al Máster de la Ingeniería Nuclear y sus Aplicaciones en España

L. E. Herranz, J.C. García-Cuesta, S. Falcón, M. Marco y M. Couchoud

Inspirado en el llamado “renacimiento nuclear”, el desafío de conservar los conocimientos y la pericia de la energía nuclear y en base al Espacio Europeo de Educación, el CIEMAT ha organizado el Máster de Ingeniería Nuclear y Aplicaciones (MINA) en estrecha colaboración con las universidades españolas e industrias nucleares nacionales, con un enfoque totalmente renovado.

El MINA, ha nacido como un Máster de profesionalización, con el objetivo de construir un puente entre la enseñanza universitaria y la capacidad técnica exigida por la industria y organizaciones del sector de la energía nuclear. En resumen, formación de capacitación que proporcionará a los participantes las habilidades que requiere el sector nuclear. Los cinco pilares que han llegado a ser la clave del MINA son: la orientación profesional, ámbito completo, política integral, excelencia de dominio, y pluralidad de la aceptación académica. Este trabajo describe estos principios, así como otras características del MINA.

La primera edición del MINA tendrá lugar desde octubre de 2008 a junio de 2009.

Inspired by the so-called “nuclear renaissance”, the challenge of preserving nuclear knowledge and expertise and on the basis of the European Education Area, the Master's degree in Nuclear Engineering and Applications (MINA) has been set up by CIEMAT, in close collaboration with Spanish Universities and the national nuclear industries, with a drastically renewed approach.

The MINA, born as a professionalizing master's, intends to build a bridge between University education and technical know-how demanded by today's nuclear industry and organizations. In short, an enabling training that will provide participants with the actual skills that match nuclear sector needs. The five major MINA keystones become are professional orientation, full scope, integrating policy, excellence in mastering and plural academic acceptance. These principles as well as other major MINA features are described in detail in this paper.

The first round of MINA will be held from October 2008 to June 2009.



L. E. HERRANZ es Doctorado por la Escuela de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid y actualmente es el responsable de la Unidad de Investigación en Seguridad Nuclear del CIEMAT. Todos los autores de este artículo trabajan en el CIEMAT.

ANTECEDENTES

La formación en el campo nuclear ha sido históricamente una tarea prioritaria para el CIEMAT. Desde su creación en 1951, entonces como Junta de Energía Nuclear (JEN), su compromiso con la educación y el entrenamiento de profesionales nucleares fue firme y, finalmente, se hizo explícito en 1964, con la creación del Instituto de Estudios Nucleares (IEN). El Curso de Ingeniería Nuclear fue impartido por primera vez en 1965 y nació con un objetivo claro: “la formación de ingenieros y científicos especializados en el proyecto, construcción y explotación de centrales e instalaciones nucleares” [1]. Esta primera edición del curso emuló temáticamente

al existente en aquel entonces en el Massachusetts Institute of Technology (MIT) americano. El interés suscitado en las empresas relacionadas con la producción de energía se hizo patente en la participación de representantes de SENER, ENHER, IBERDUERO, etc.

A mediados de los años 80 del pasado siglo, el cambio de coyuntura política se dejó sentir en la JEN. Por un lado, una buena parte de sus competencias fue vinculada a empresas y organismos de nueva creación, como ENRESA, ENUSA y CSN, cuya vertebración se nutrió en gran medida de instalaciones, documentos y personal de la JEN. Por otro, sus campos de actuación se ampliaron a las energías renovables y el medio ambiente, como quedó reflejado

en su nueva denominación, CIEMAT: Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas. El IEN, no siendo ajeno a estas vicisitudes, fue asimismo rebautizado en 1986 como Instituto de Estudios de la Energía (IEE). El Curso de Ingeniería Nuclear mantuvo su formato inicial, actualizado con el paso de los años, a lo largo de 23 ediciones (1965-1989).

Aprovechando la transición de los 80 y el desarrollo de la formación universitaria de postgrado, se adaptó el curso a Máster en Energía Nuclear, reconocido como título propio de la Universidad Autónoma de Madrid (UAM). De él se celebraron 10 ediciones (1990-1999). El reforzamiento del carácter académico del curso con

la colaboración de la Universidad, no impidió una participación destacada del sector nuclear nacional en tareas docentes. La transferencia de la experiencia adquirida por la industria y, no menos importante, su apoyo financiero fueron dos baluartes fundamentales para la organización del Máster.

A finales de la década de los 90 descendió apreciablemente la demanda de profesionales desde el sector. CIEMAT y UAM, no obstante, mantuvieron la formación nuclear pero con un perfil más bajo. Así se configuró en 2001 el denominado Curso de Tecnología y Seguridad Nuclear, al que como novedad se incorporaron áreas tales como la física médica o la fusión. Es en 2005, una vez bien establecido este nuevo formato, cuando la UAM vuelve a adoptarlo como título propio bajo la denominación de Máster en Tecnología Nuclear, Fisión, Fusión y Medicina Nuclear.

Como resultado de tan vasta andadura, CIEMAT ha colaborado en la formación de más de 600 profesionales, muchos de los cuales integran en la actualidad las plantillas de empresas, ingenierías, universidades e instituciones del sector.

MOTIVACIÓN

Las nuevas tendencias emergentes tanto en el plano académico, en el llamado Espacio Europeo de Educación, como en la vertiente más industrial, demandan una reorientación multi-institucional hacia la profesionalización del Máster. En la actualidad existen signos evidentes en el panorama internacional de lo que se ha denominado "Renacimiento Nuclear" [2]. La consecución de un desarrollo sostenible y la acuciante preocupación por el calentamiento global y por la garantía del suministro energético, han renovado el interés por la producción

nuclear de energía. Interés que, por otro lado, está bien justificado en los aproximadamente 1,3000 años de experiencia de operación acumulada con un historial impecable de fiabilidad y de seguridad. España, cualquiera que sea su planteamiento energético de futuro, es sensible a esta realidad mediante proyectos que empresas, ingenierías e instituciones nacionales están afrontando allende las fronteras del país. Como consecuencia, es previsible una demanda desde el sector nuclear de capital humano competente. Una apuesta nacional por la energía nuclear, acentuaría aún más esta necesidad.

El previsible resurgimiento nuclear está coincidiendo en el tiempo con el retiro de la generación de profesionales que han sido responsables del diseño, la construcción y explotación de las centrales nucleares de segunda generación y, con ellos, de una buena parte de la experiencia adquirida. Este hecho no hace sino reforzar aún más la necesidad de incorporar nuevos ingenieros, tecnólogos y científicos al sector nuclear. Sin embargo, esta tendencia, supuestamente alentadora, se torna preocupante cuando se constata el decaimiento del interés por la especialidad nuclear de estudiantes de ingeniería y ciencias en los últimos años. Desafortunadamente, esta circunstancia de dimensión internacional, halla en España fiel reflejo.

En este panorama nacional e internacional, CIEMAT ha reconocido la oportunidad de adoptar una nueva concepción, tan ambiciosa como estimulante, en la formación de profesionales nucleares: el Máster en Ingeniería Nuclear y Aplicaciones (MINA). Nacido con vocación multi-institucional, MINA pretende ser un máster inter-universitario cuyo objetivo último sea responder a las necesidades planteadas desde el sector nuclear y promover el interés de

los jóvenes por la tecnología nuclear.

OBJETIVOS Y ALCANCE

El objetivo general del Máster en Ingeniería Nuclear y Aplicaciones es la formación de profesionales en el área de la ingeniería nuclear. Para ello, se han formulado los siguientes fines específicos:

- La revisión de los fundamentos de la tecnología nuclear.
- La profundización en las áreas que integran la tecnología nuclear.
- La familiarización con las aplicaciones actuales y estudio de las futuras.

Se trata, por tanto, de proporcionar una visión exhaustiva y extensa de las disciplinas subyacentes en las aplicaciones actuales y futuras de la tecnología nuclear que permita su completa comprensión. Todo ello sin renunciar al análisis de la adaptación que la tecnología nuclear ha hecho de leyes y principios fundamentales de la física, la química y/o la ingeniería.

El alcance de MINA está determinado temporal y temáticamente. En lo que respecta a su duración, MINA está siendo concebido con una extensión de 1.500 h distribuidas a lo largo de un curso escolar (i.e., octubre-junio, ambos inclusive). Aproximadamente, está previsto dedicar la mitad de ese tiempo a clases lectivas y el resto a aspectos prácticos, entre los que destaca un proyecto individual cuya duración será un tercio del total.

En cuanto al alcance temático, tres son las grandes áreas a abordar: centrales actuales, sistemas futuros y radiación y aplicaciones. El primero agrupa un elenco de temas tan variados como actuales: ciclo de combustible, operación y mantenimiento de centrales, extensión de vida y desmantelamiento y clausura. El segundo se perfila en tres líneas principales de estudio: sistemas de generación III, III+ y IV, fusión por confinamiento magnético e inercial y reactores subcríticos para transmutación. Finalmente, la última contempla desde las medidas preventivas contra las radiaciones ionizantes (protección radiológica) hasta los desarrollos tecnológicos con aplicación en la industria.

PRINCIPIOS FUNDAMENTALES

Cinco son los principios fundamentales sobre los que se sustenta esta nueva iniciativa de formación en ingeniería nuclear: proyección profesional, aproximación integral, integración sectorial, excelencia docente y aceptación plural

Proyección profesional

MINA está siendo concebido para responder a las necesidades del sector. En otras palabras, cualquier participante

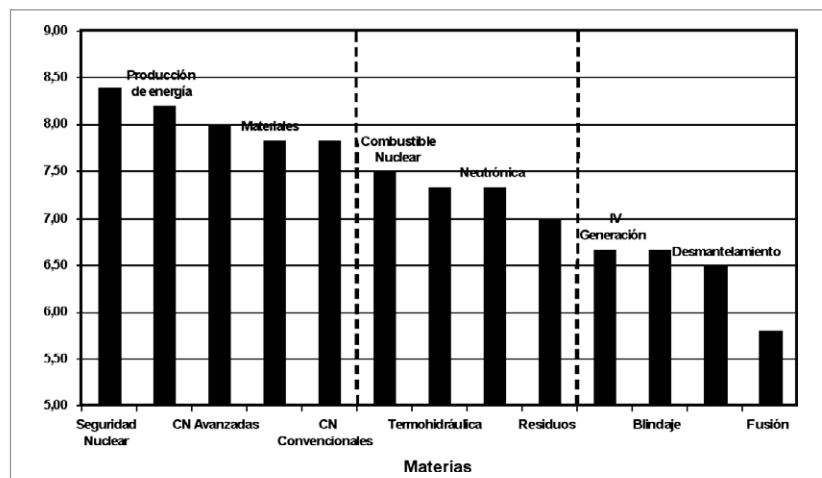


Figura 1. Resultados de un análisis de importancia de materias en el sector nuclear.

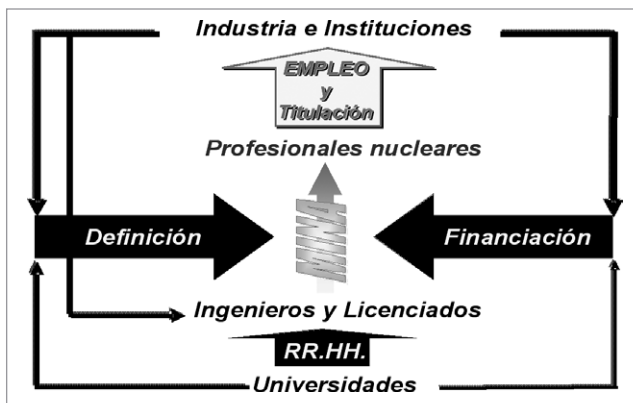


Figura 2. Esquema de la aproximación integral de MINA.

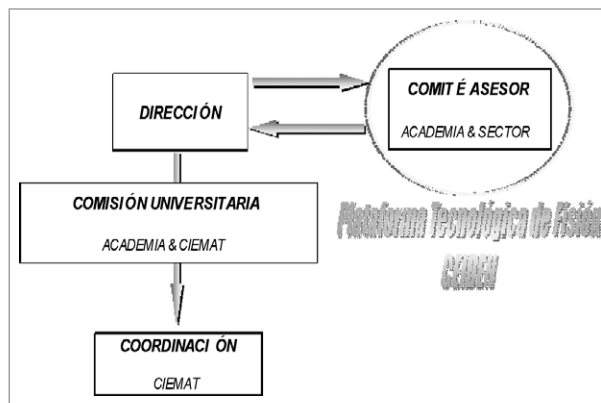


Figura 3. Estructura de MINA e integración en CEIDEN.

en MINA que haya superado con éxito las pruebas pertinentes, estará dotado de conocimientos y experiencia suficientes para su integración y adopción inmediata de responsabilidades técnicas en cualquiera de las empresas e instituciones del sector.

Para ello, se ha establecido un perfil profesional acuñado por todos los interlocutores del sector, especialmente la industria y otras instituciones responsables de la reactivación del mercado laboral en el ámbito nuclear. Mediante una encuesta preparada ad-hoc, diversas organizaciones ponderaron una serie de disciplinas propuestas y, en ocasiones, añadieron otras no contempladas inicialmente. CIEMAT [3] analizó las respuestas y discutió los resultados que aparecen en la figura 1.

De acuerdo con este estudio, MINA otorgará una importancia excepcional a áreas como la seguridad nuclear y los materiales en centrales nucleares actualmente en operación o susceptibles de ser construidas en un período temporal de 15-20 años. Ello sin renunciar a proporcionar una sólida formación en disciplinas consideradas fundamentales como la termo-hidráulica, la neutrónica, el combustible nuclear y los residuos radiactivos. Otras áreas, como sistemas

de Generación IV o fusión, serán tratadas presumiblemente de un modo descriptivo.

Aproximación integral

Desde las primeras fases de su planteamiento, MINA pretende erigirse en una vía de conversión de ingenieros y licenciados en titulados con un perfil profesional atractivo para el sector. Ello requiere contemplar desde el principio de su gestación aspectos tales como materia prima y productos.

La materia prima de MINA será el capital humano. La principal fuente de estudiantes esperada serán las universidades colaboradoras en el Máster. A ella se agregarán profesionales del sector cuyas empresas u organismos consideren de interés su participación y estudiantes o profesionales extranjeros, fundamentalmente del entorno hispano-parlante. A partir de las solicitudes recibidas se efectuará una selección basada en los méritos profesionales y/o académicos, de modo que el número total de alumnos no supere 20-25.

El resultado final que se persigue en MINA puede cifrarse en dos productos:

- **El empleo.** Un elevado porcentaje de los participantes debería gozar de ofertas de trabajo al finalizar. El prota-

gonismo de la industria en la definición del perfil habría de actuar como garante de su interés por la captación de los profesionales resultantes del Máster. A su vez, esta circunstancia habría de tener un efecto estimulante hacia la energía nuclear en los estudiantes de ingeniería y ciencias.

- **La titulación Máster.** La aprobación del Máster como título propio de la Universidad Autónoma de Madrid supone la adquisición de una titulación académica de postgrado.

Habiendo establecido claramente punto de partida y productos, tres son los elementos que permitirán recorrer el camino entre ambos: la implicación global del sector, la estructuración temática y la provisión logística. El primero potenciará la calidad y permitirá sinergias docentes únicas. El segundo se ha derivado con gran detalle a partir del perfil buscado y su enfoque será una característica distintiva. Y, por último, el tercero está garantizado por la amplia experiencia de CIEMAT en la organización de cursos con participación múltiple de empresas e instituciones. Como consecuencia, se concederán un número sustancial de becas que permitirán la participación gratuita de los mejores candidatos.

Estos aspectos se sintetizan en la figura 2. El grosor de las líneas indica cualitativamente las contribuciones de los diversos agentes involucrados en el Máster. Por un lado, se pretende que Industria e Instituciones contribuyan de modo tan sobresaliente en la financiación como lo han hecho en la definición de MINA, y, en menor medida, podrían ser una fuente de participantes. Por otro lado, la Universidad será la principal fuente de los recursos humanos (estudiantes); su influencia en la definición del máster ha sido igualmente notable y sus aportaciones económicas, de carácter menor, estarán esencialmente ligadas a la gestión local del Máster.

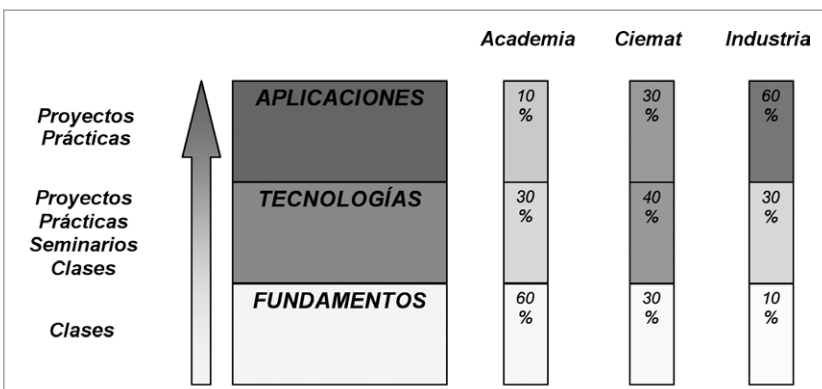


Figura 4. Distribución de contribuciones en la docencia de MINA.

Integración sectorial

Como se mencionó en los párrafos anteriores, MINA nace con vocación multi-institucional. La recientemente instituida Plataforma Tecnológica de I+D de Energía Nuclear de Fisión (CEIDEN), que favorece la colaboración entre las distintas instituciones (i.e., Ministerio de Industria, CSN, ENRESA, ENUSA, CIEMAT) y empresas, es el marco coyuntural óptimo de esta actividad formativa. MINA ha sido reconocido como máster de CEIDEN, con quien existe una clara vinculación en la estructura organizativa del máster. La Dirección de MINA, a cargo de CIEMAT y UAM, mantendrá un contacto permanente con un Comité Asesor que, establecido en el marco CEIDEN, estará integrado por 3-5 miembros procedentes del sector, instituciones y universidades. Además, se contará con una Comisión Universitaria que vigilará los "valores académicos" de MINA. Finalmente, la coordinación del máster será responsabilidad de CIEMAT. La figura 3 muestra la estructura descrita.

Excelencia docente

La excelencia docente se logrará mediante la adopción de tres medidas estratégicas:

- Participación múltiple. De acuerdo con el carácter sectorial de MINA, el cuerpo docente estará integrado por Universidades, Industria y CIEMAT.
- Especialización temática. Cada institución y/o empresa participará en aquellas áreas del conocimiento en las que ostente una posición preferencial. Ello sin detrimento de posibles colaboraciones de personal de otras organizaciones en el ejercicio docente.
- Dedicación distribuida. La implicación de instituciones y empresas será distinta según los tres grandes bloques perfilados en los objetivos específicos (i.e., fundamentos, tecnologías y aplicaciones). Así, el mayor peso de la Academia estará ligado a los Fundamentos y, en menor medida, a las Tecnologías y sus Aplicaciones; en su conjunto asumirá aproximadamente un 30% de la docencia. Por el contrario, en el caso de la Industria su intervención (cerca del 50%) se distribuirá de modo especular a la anterior, localizándose su dedicación mayoritaria en las Aplicaciones. Finalmente, el Organismo de investigación tendrá una contribución prácticamente uniforme en todas las áreas. Esta distribución de actividades puede verse de forma esquemática en la figura 4.

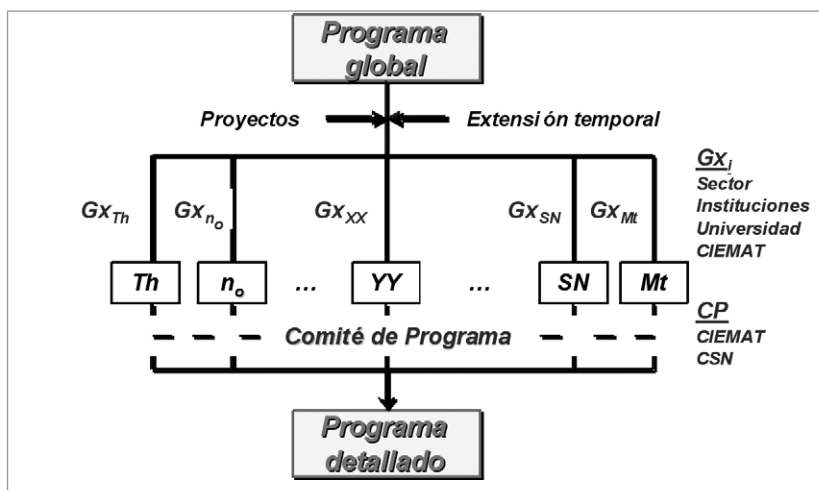


Figura 5. Procedimiento de definición del programa detallado.

Aceptación plural

Desde el punto de vista exclusivamente académico, MINA ha pretendido desde su concepción aglutinar a todas aquellas universidades con departamentos de reconocido prestigio en el ámbito nuclear. Tal es el caso de Universidades como: Autónoma de Madrid, Politécnica de Madrid, Politécnica del País Vasco, Politécnica de Valencia, Cantabria y Autónoma de Barcelona. Además de éstas, cualquier otra universidad con actividades en el campo nuclear será, igualmente, bienvenida en ediciones sucesivas.

VERTEBRACIÓN Y ENFOQUE

MINA se conducirá a través de tres vectores esenciales:

- Clases lectivas. Dirigidas a la introducción de conceptos y metodologías, serán complementadas por seminarios específicos impartidos por especialistas reconocidos del panorama nacional y/o internacional.
 - Sesiones prácticas. Destinadas a la utilización de técnicas experimentales y/o metodologías de análisis aplicadas en distintas áreas de la Tecnología Nuclear.
 - Proyecto. De carácter individual e importancia sustantiva, se procurarán de acuerdo con las actividades en curso y/o futuras en la industria o en otras instituciones del sector. Cada proyecto contará con un director y un tutor, el último de los cuales formará parte del cuerpo docente del máster.
- Por supuesto, estos tres vectores se complementan con visitas a instalaciones singulares como centrales nucleares, almacenamiento de residuos de media y baja de El Cabril, y otras.
- Las clases lectivas (775 h) se distribuirán en asignaturas cuyo número de horas será acorde con los resultados del

análisis de importancia realizado. Así, las materias se clasificarán como:

- Materias Prioritarias (MP). Son temáticas que por su carácter fundamental y su incuestionable actualidad se les dedicará especial atención. Tal es el caso de la Seguridad Nuclear, la Producción de Energía, las Centrales Nucleares Convencionales y Avanzadas y los Materiales. Algunas de estas áreas o bloques temáticos citados podrían desglosarse en varias asignaturas.
 - Materias fundamentales (MF). Son temáticas que, aunque no necesariamente tan actuales como las anteriores, son imprescindibles para una sólida formación en ingeniería nuclear. Entre ellas se encuentran el Combustible Nuclear, la Termo-hidráulica, la Neutrónica y los Residuos.
 - Materias complementarias (MC). Son temáticas que, bien por su horizonte temporal o por su vinculación con algunas de las consideradas fundamentales, recibirán menor atención que las citadas arriba. Ejemplos podrían ser las Centrales Nucleares de Generación IV, la fusión, la Protección Radiológica o el Blindaje.
- Mediante criterios objetivos de naturaleza estadística se ha estimado una duración aproximada de 60-90 h, 40-60 h y 20-30 h, respectivamente, para cada una de las asignaturas integradas en los grupos descritos.
- Las sesiones prácticas (250h), estarán esencialmente vinculadas a materias consideradas prioritarias y/o fundamentales.
- El carácter "profesionalizante" de MINA hace que las aplicaciones de la ingeniería nuclear y, en concreto, los proyectos individuales se conviertan en el elemento directriz del máster. Por un lado, la dedicación temporal a los proyectos es sustancial (un tercio del total del máster -500 h-). Por otro, los pro-

yectos se enmarcarán mayoritariamente en las denominadas "materias prioritarias" y se apoyarán necesariamente en las denominadas fundamentales. Su definición estará directamente vinculada a las necesidades concretas en industria, ingenierías y otras instituciones. Así, su ejecución ha de asegurar el entrenamiento en disciplinas y herramientas de directa aplicación en las labores que, actualmente o en un futuro inmediato, están siendo (o serán) realizadas por el sector, ya sea en un marco nacional o internacional.

PROGRAMA DETALLADO

El desarrollo detallado del programa se ha realizado, según los principios de excelencia docente e integración sectorial, por grupos expertos de la Industria, la Academia y las Instituciones en cada área. Cada grupo ha propuesto un desglose de asignaturas y temarios específicos que han sido examinados por un Comité encargado de garantizar la cohesión entre los diversos bloques y la inexistencia solapamientos innecesarios. La Figura 5 representa de modo esquemático el modo de proceder descrito.

Como punto de partida los grupos contaron con la clasificación anterior de materias, incluida su acotación temporal, y con una lista de más de 20 pro-

yectos individuales definidos a priori, cuya dirección correrá a cargo mayoritariamente por industria e instituciones del sector.

El resultado final es un conjunto de más de 20 disciplinas, entre las que se encuentran algunas tradicionales como Termo-hidráulica, neutrónica, control de reactores, etc., frente a otras de naturaleza más innovadora y de importancia creciente como Seguridad Física o Generación III. Su extensión temporal, ajustada de acuerdo con los temarios específicos, varía ligeramente respecto a la inicialmente prevista. Por último, el profesorado se ha determinado de modo institucional y está perfectamente identificado. A pesar de esta concreción, existe flexibilidad para la consideración de posibles modificaciones.

Actualmente, mayo 2008, el proyecto está inmerso en la efervescencia de la fase de difusión y gestión. Ello ha supuesto la satisfacción del resto de etapas anteriores.

REFERENCIAS

- [1] Romero A., Sánchez J.M., "Energía Nuclear en España: De la JEN al CIEMAT", Capítulo V: "La JEN a partir de 1964", Ed. Doce Calles, S.L., 2001.
- [2] Bazile F., "The Nuclear Renaissance: Towards a Wonderful World? Foresight Issues Linked to the Global Development of Nuclear Power", International Congress on Advances in Nuclear Power Plants: The Nuclear Renaissance at Work, May 13-18, 2007.
- [3] Herranz L.E., García-Cuesta, J.C., "Definición del perfil profesional del Máster en Ingeniería Nuclear y Aplicaciones", UNSR/TN-11/07, Agosto 2007a.
- [4] Herranz L.E., García-Cuesta J.C., Falcón S., Marco M.L., "Máster en Ingeniería Nuclear y Aplicaciones: Nuevo planteamiento en la formación de profesionales nucleares", XXXIII Reunión de la Sociedad Nuclear Española, Segovia 26-28 de septiembre, 2007b.
- [5] Herranz L.E., García-Cuesta J.C., Marco M.L., Falcón S. "MINA-2008: a renewed approach to mastering nuclear engineering and applications in Spain". NESTet, Nuclear Engineering Science and Technology, education and training. European Nuclear Society. Budapest, 4-8 May 2008.■

CONVOCATORIAS 2008

Congresos y Reuniones

5 JULIO - 15 AGOSTO	WORLD NUCLEAR UNIVERSITY; THE FOURTH WNU SUMMER INSTITUTE WNA, IAEA, NEA y WANO INFO: WWW.WORLD-NUCLEAR-UNIVERSITY.ORG
MCMMASTER UNIVERSITY, CANADÁ	
20-29 AGOSTO	FRÉDÉRIC JOLIOT/OTTO HAHN SUMMER SCHOOL ON NUCLEAR REACTORS: PHYSICS, FUELS AND SYSTEMS Comisariado de Energía Atómica CEA INFO: WWW.CAD.CEA.FR/FJOH
AIX-EN-PROVENCE, FRANCIA	
1-12 SEPTIEMBRE	FUSION TECHNOLOGIES - 2ND KARLSRUHE INTERNATIONAL SUMMER SCHOOL Forschungszentrum Karlsruhe, CEA, UK Atomic Energy Authority, Ente per le Nuove tecnologie l'Energia e l'Ambiente (Italia), Areva NP, Österreichische Akademie der Wissenschaften, European Comision. INFO: WWW.FZK.DE/SUMMERSCHOOL-FUSION
KARLSRUHE, ALEMANIA	
3-5 SEPTIEMBRE	WORLD NUCLEAR ASSOCIATION 33ND ANNUAL SYMPOSIUM World Nuclear Association WNA INFO: WWW.WNA-SYMPOSIUM.ORG
LONDRES, REINO UNIDO	
8-11 SEPTIEMBRE	NUCLEAR ENERGY FOR NEW EUROPE 2008 Nuclear Society of Slovenia INFO: WWW.NSS.SI/PORT2008/
PORTOROZ, ESLOVENIA	
2-24 SEPTIEMBRE	WIGNER COURSE 2008 Institute of Nuclear Techniques of the Budapest University of Technology and Economics INFO: SUKOSD@REAK.BME.HU
BRATISLAVA, BUDAPEST, PRAGA, VIENA	