



**POLITÉCNICA**

**SOLICITUD DE VERIFICACIÓN DE PROGRAMA DE DOCTORADO**

**Real Decreto 99/2011, de 28 de enero, por el que se regulan las enseñanzas oficiales de doctorado**

**DENOMINACIÓN:**

**ENERGÍA SOSTENIBLE NUCLEAR Y RENOVABLE**

**Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID**

**Revisión 2, 29 de julio de 2013**

## 1. DESCRIPCIÓN DEL TÍTULO

### 1.1. DATOS BÁSICOS

Denominación: **Programa de Doctorado en Energía Sostenible Nuclear y Renovable por la Universidad Politécnica de Madrid**

Códigos UNESCO: **ISCED1: Ingeniería y profesiones afines**  
**ISCED2: Electricidad y Energía**

**Temática:** Ciencia y tecnología para el desarrollo de procesos energéticos con baja emisión de carbono, entre ellos las energías renovables, la nuclear de fisión y la fusión nuclear. En su base disciplinar se incluye la termodinámica, la mecánica de fluidos, la física de las radiaciones y su interacción con la materia, entre otras.

### 1.2. CONTEXTO

#### Presentación

El Programa de Doctorado en “Energía Sostenible Nuclear y Renovable” por la Universidad Politécnica de Madrid, que se propone impartir según el RD 99/2011, en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, reúne la experiencia y capacidades del Departamento de Ingeniería Energética y Fluidomecánica, y del Departamento de Ingeniería Nuclear. Dichos departamentos colaboran en la impartición de las asignaturas del área energética de las Titulaciones Oficiales de Grado (RD 1393/2007) “Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales”, “Grado en Ingeniería de la Energía” y de la Titulación de “Ingeniería Industrial” (RD 1497/1987), además de las Titulaciones Oficiales de Máster Universitario en “Ingeniería de la Energía” y “Ciencia y Tecnología Nuclear”.

La unión de ambos departamentos en un único Programa de Doctorado tiene como objetivo formar investigadores y docentes capacitados al máximo para dar una respuesta a las necesidades actuales de energía para el Desarrollo Sostenible. Este es sin duda uno de los campos claves entre los desafíos tecnológicos existentes, tanto por su incidencia en el bienestar personal y colectivo, como por su influencia en la competitividad económica, así como por las repercusiones medioambientales; y dentro de ellas, las de carácter global, y en concreto el Calentamiento Global debido a la intensificación del efecto invernadero de la atmósfera. Para contribuir a este reto son necesarios desarrollos tecnológicos innovadores o avanzados en tecnologías energéticas con baja emisión de carbono, entre ellas las energías renovables, las nucleares de fisión y la fusión nuclear, por lo que todas ellas tienden a jugar cada vez un papel más destacado. En el desarrollo de la adquisición de estos conocimientos, se precisa impartir y transmitir elementos fundamentales de la física de las radiaciones y su interacción con la materia que permiten entrar en áreas fundamentales para la sociedad como la medicina, industria, espacio y otras.

Esta reflexión inicial, que es desarrollada seguidamente, justifica la constitución de un Programa de Doctorado, bien identificado en contexto y condiciones de contorno, bien estructurado internamente, y sobre el cual hay expectativas fundadas de éxito, habida cuenta la ejecutoria de los Departamentos participantes y el profesorado promotor,

incluyendo el gran número de colaboraciones nacionales e internacionales en las que participan.

## **Antecedentes**

El Programa proviene parcialmente, en lo relativo a la línea de investigación “Ciencia y Tecnología Nuclear”, del Programa Oficial de Doctorado en “Ciencia y Tecnología Nuclear”, que obtuvo la Mención hacia la Excelencia de 2011-2012 a 2013-2014 (referencia: MEE2011-0065) y que a su vez procedía de la transformación del anterior Programa de Doctorado en “Ciencia y Tecnología Nuclear” que obtuvo la Mención de Calidad en el curso 2003-2004 (MCD 2003-00293) y fue renovando de forma ininterrumpida hasta la actualidad. Se citan seguidamente los Boletines Oficiales del Estado en los que aparecieron dichas renovaciones:

- BOE 167, de 14-07-2005, para el curso 2005-2006, (pág. 25140).
- BOE 207, de 30-08-2006, para el curso 2006-2007, (pág. 31391).
- BOE 245, de 12-10-2007, para el curso 2007-2008, (pág. 41591).
- BOE 273, de 12-11-2008, para el curso 2008-2009, válido hasta 2011-2012 (pág. 44932).
- BOE 253, de 20-10-2011, para los cursos 2011 a 2014, (pág. 109909).

## **Demanda potencial del programa de doctorado y su interés para la sociedad**

El concepto de Desarrollo Sostenible surgió a finales de la década de los 80 definiéndose en el famoso Informe Brundtland, presentado ante la Asamblea General de Naciones Unidas en 1987, como “un desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para atender sus propias necesidades”. En un sentido amplio, el desarrollo sostenible encarna el concepto de igualdad dentro y fuera de las fronteras de los países y a lo largo de las generaciones, y conjuga el crecimiento económico con la protección del medio ambiente y el bienestar social. En esa dirección, uno de los puntos clave es, en particular, la carga negativa a largo plazo que dicho desarrollo podría acarrear para las generaciones futuras si se consolidara la amenaza del Calentamiento Global, con su consiguiente Cambio Climático.

Es sobradamente conocida la reacción a nivel internacional ante esta amenaza, que se sobreponía, en lo que a Energía se refiere, a la previsible escalada de precios de los hidrocarburos, consecuencia de la limitación de sus reservas, sobre todo de petróleo. El panorama en cuestión produjo reacciones importantes en lo referente a la cuestión medioambiental y a la contención, e incluso reducción, de los gases de efecto invernadero, especialmente el CO<sub>2</sub>, como fueron la constitución del *Intergovernmental Panel on the Climate Change* ([www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)) y el Protocolo de Kioto en 1997.

Sin embargo, la evolución de las citadas emisiones no ha seguido una pauta de contención, sino lo contrario, pues las emisiones pasaron de 25,6 Gt en 2000 a 33,1 en 2010. En gran medida ese incremento se debió a la no disponibilidad de fuentes no fósiles para la satisfacción de necesidades de crecimiento energético de países emergentes,

predominantemente asiáticos, lo que hizo que en el período considerado fuese el carbón la fuente energética que más creció, pasando en la pasada década de 2,4 Gtep en el año 2000 a 3,5 en 2010.

La Unión Europea ha sido, por otro lado, la entidad política internacional más beligerante contra las emisiones, al menos en el plano teórico y legislativo, lo cual se ha consolidado en la Directiva 2009/28/CE, que marca el triple objetivo 20/20/20 para el 2020, refiriéndose a una reducción de 20% de las emisiones de gases de efecto invernadero con respecto a los niveles de 1990, una participación del 20% de las energías renovables en el suministro de energía primaria, y una reducción del 20% en la intensidad de consumo energético, respecto de la evolución tendencial.

Tanto en la UE como en múltiples foros (no sólo científicos) preocupados por estos temas, señalan la necesidad de la innovación en las tecnologías energéticas como la gran esperanza para dar cumplida respuesta a este desafío. La UE puso a tal efecto en marcha a partir de 2007 el Strategic Energy Technologies Plan (SET Plan) destinado a promover las nuevas tecnologías necesarias, que satisficieran los tres objetivos esenciales que se han identificado de manera casi unánime:

- Seguridad de suministro
- Costes moderados
- Calidad ambiental.

Además, la UE se ha comprometido a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero un 80-95% por debajo de los niveles de 1990 para 2050, por lo que actualmente examina los retos que la descarbonización plantea. En la hoja de ruta sobre energía para 2050, aprobada recientemente, la Comisión Europea considera que la contribución de las Energías Renovables debería llegar a alcanzar el 55% del consumo bruto de energía. Igualmente reconoce que aunque haya diferencias en cuanto a las estrategias nacionales, la Energía Nuclear supone una importante contribución a la economía baja en carbono, y contribuye a reducir los costes del sistema energético y los precios de la electricidad. En la UE y globalmente, deben asegurarse más aun los más altos estándares de seguridad tecnológica y física, para lo que es imprescindible mantener la competencia y el liderazgo tecnológico. Por último, la inversión actual en la Fusión Nuclear, con posibles incorporaciones de ideas alternativas a las actuales, y su potencial proximidad de viabilidad física, da pie a pensar positivamente en su papel de cara al 2050.

En el caso de España en particular se tiene además una dependencia del exterior del orden de un 70 % en cuanto a las materias primas para la producción de energía primaria, y de un 40% para la producción de energía eléctrica, contribuyendo las energías renovables y la nuclear a reducir esta dependencia.

## **Relación del Programa de Doctorado con la situación del I+D+i del sector**

Tras la descripción realizada en el apartado anterior, es evidente que los retos de la transición a una economía baja en carbono tienen en el sector de la energía uno de sus campos clave, que debe sustentarse en sólidas bases científicas para conseguir mejorar las tecnologías que permitan un uso mucho más amplio de las energías renovables, así como

de los reactores nucleares avanzados de fisión nuclear y de los futuros reactores de Fusión Nuclear. Es por ello que el actual 7º Programa Marco de Investigación Europeo incluye la Energía como una de sus diez líneas clave.

En la línea referida a la Energía Nuclear, el Programa propuesto es de relevancia científica e investigadora, teniendo además relevancia académica especializada, necesaria para formar nuevos investigadores. Su relevancia profesional está asociada al trabajo en instalaciones nucleares avanzadas, como las instalaciones de demostración de fusión nuclear en construcción: ITER (confinamiento magnético) o ya construidas como NIF (confinamiento inercial), los programas de reactores avanzados de fisión nuclear de la Generación-IV, los sistemas de transmutación nuclear y sistemas nucleares guiados por acelerador (ADS), o los aceleradores de partículas, entre otros. En la UE, el Programa Marco de investigación de Euratom, contempla la Fusión Nuclear y la Fisión Nuclear, con incidencia en los aspectos de seguridad.

En el ámbito nacional, el Plan Nacional de I+D+i 2008-2011 tenía una de sus cuatro Acciones Estratégicas sobre Energía y Cambio Climático. Por su parte, centrado en sus campos de competencia, el Consejo de Seguridad Nuclear mantiene desde hace años su Programa de I+D en Seguridad Nuclear y Protección Radiológica. En el ámbito autonómico, la Comunidad de Madrid financia diversos programas de I+D en el campo de la Energía, incluyendo fundamentalmente las Energías Renovables y la Fusión Nuclear.

Es evidente por tanto que el Programa de Doctorado que se propone puede aprovecharse de la existencia de estos programas de I+D+i públicos, en los que los equipos de investigadores de ambos Departamentos ya participan en muchos casos, como se detalla en apartados posteriores de esta memoria.

### **Integración en la estrategia de I+D+i de la universidad**

El Programa de Doctorado en “Energía Sostenible Nuclear y Renovable” agrupa a un conjunto de profesores investigadores procedentes de los Departamentos de Ingeniería Energética y Fluidomecánica, y de Ingeniería Nuclear, del Instituto de Fusión Nuclear, así como de cinco grupos de investigación reconocidos por la Universidad Politécnica de Madrid:

- “Modelización de Sistemas Termoenergéticos”
- “Mecánica de fluidos aplicada a la Ingeniería Industrial”
- “Termodinámica Aplicada a la Ingeniería Industrial”
- “Fusión nuclear inercial y tecnología de fusión”
- “Ciencia y tecnología de Sistemas avanzados de fisión nuclear”

El Programa tiene por tanto una vocación integradora clara y se constituye en lugar de encuentro de un conjunto amplio de profesores investigadores con intereses comunes en las líneas desarrolladas por el programa de doctorado y que poseen un gran potencial formativo e investigador. Se integra plenamente en la estrategia de I+D+i de la UPM a través de estas estructuras (Departamentos, Instituto y Grupos de Investigación), cuyas actividades de



Lenguas del Programa: **Castellano**  
**Inglés**

#### 1.4. COLABORACIONES

Colaboraciones con Convenio:

| Código | Institución                                                                                                                                               | Descripción de la colaboración                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Naturaleza de la institución |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| C01    | <b>T.I.M.E. (Top Industrial Managers for Europe) association</b><br>( <a href="https://www.time-association.org/">https://www.time-association.org/</a> ) | T.I.M.E. INTERNATIONAL DOCTORATE CHARTER, cuyo objetivo es fomentar la movilidad de los estudiantes de doctorado entre las universidades de la red                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Privado                      |
| C02    | <b>European Nuclear Education Network (ENEN)</b><br>( <a href="http://www.enen-assoc.org">www.enen-assoc.org</a> )                                        | La UPM es miembro fundador de esta red formada por 64 universidades y centros de investigación, como el CEA (Francia), MOL.SCK (Bélgica), Joseph Stefan Institute (Eslovenia), y los Joint Research Centres para la cooperación e intercambio académico en ingeniería nuclear, incluyendo los estudios de doctorado, como se dice en los estatutos de la red, posibilitando la movilidad y estancias en dichas universidades y centros. Además, ENEN otorga anualmente premios a las mejores tesis doctorales en el campo nuclear.                                                                                                    | Privado                      |
| C03    | <b>Karlsruhe Institute of Technology (KIT)</b><br>( <a href="http://www.kit.edu/english/">www.kit.edu/english/</a> )                                      | El KIT nació como fusión de la Universidad Técnica de Karlsruhe y el Centro de Investigación de dicha ciudad. Es uno de los centros académicos y de investigación más prestigiosos de Europa en el ámbito de la energía en general, y la mejor universidad de Alemania en el área de la ingeniería y las ciencias naturales. En 2012 se ha establecido un Acuerdo de Colaboración genérico entre la UPM y el KIT, y otro específico entre el Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik del KIT y el Departamento de Ingeniería Nuclear de la UPM en los que se prevé la colaboración e intercambio de estudiantes de doctorado. | Público                      |

|     |                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |         |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| C04 | <b>Universidad Autónoma de Zacatecas (México)</b>                                      | En 2008 se estableció un acuerdo genérico para intercambio de docentes y estudiantes, incluyendo doctorandos, entre ambas universidades. Posteriormente se suscribió otro acuerdo específico entre el Departamento de Ingeniería Nuclear de la UPM y la Unidad Académica de Estudios Nucleares de la UAZ.                                                                                                          | Público |
| C05 | <b>Universidad Nacional de Cuyo (Argentina)</b>                                        | En 2012 se estableció un acuerdo genérico para intercambio de docentes y estudiantes, incluyendo doctorandos, entre ambas universidades, fundamentalmente con el Centro Nuclear Balseiro en Bariloche (Argentina)                                                                                                                                                                                                  | Público |
| C06 | <b>Pennsylvania State University (PSU) - College of Engineering (EE.UU.)</b>           | En febrero de 2012 se firmó un Acuerdo de Colaboración entre la PSU y la UPM que contempla el intercambio de docentes y estudiantes, incluyendo el nivel de doctorado. Además se ha establecido un acuerdo específico entre el Department of Mechanical and Nuclear Engineering, PSU, y el Departamento de Ingeniería Nuclear, UPM, con especial alcance en cuanto al doctorado                                    | Público |
| C07 | <b>Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) (<a href="http://www.csn.es">www.csn.es</a>)</b> | En enero de 2005, el CSN y la UPM suscribieron un Convenio Específico de Colaboración para la creación de la Cátedra de Seguridad Nuclear "Federico Goded" en la ETSII de Madrid, entre cuyos objetivos está el apoyo al Doctorado mediante becas para la realización de Tesis u organización de cursos y seminarios especializados, todo ello en los ámbitos de la seguridad nuclear y la protección radiológica. | Público |
| C08 | <b>Gas Natural Fenosa S.A.</b>                                                         | En 2008 se estableció un Convenio de Colaboración entre Gas Natural Fenosa y la UPM, para la creación del Aula "José Cabrera", dedicada a la enseñanza de la tecnología de la operación de las centrales nucleares. Incluye entre sus objetivos la donación del simulador gráfico interactivo de la Central Nuclear José Cabrera para su empleo en actividades de investigación y de formación de                  | Privado |

|     |                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |         |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
|     |                                                                                                                                                                       | estudiantes de doctorado entre otros.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |         |
| C09 | <b>Plataforma Tecnológica de Energía Nuclear de Fisión (CEIDEN)</b> ( <a href="http://www.ceiden.com">www.ceiden.com</a> )                                            | La Plataforma Tecnológica de Energía Nuclear de Fisión (CEIDEN) fue constituida en el año 2007 y sus objetivos son coordinar los diferentes planes y programas nacionales de I+D, así como la participación en los programas internacionales, procurando orientar de forma coherente los esfuerzos de las entidades implicadas. Forman parte de ella empresas, instituciones de I+D, organismos públicos y universidades. La UPM, a través del Departamento de Ingeniería Nuclear, se integró en el CEIDEN como socio fundador y en representación de las universidades españolas con másteres y programas de doctorado nucleares ( <a href="http://ceiden.com/miembros-del-ceiden/">http://ceiden.com/miembros-del-ceiden/</a> ). | Privado |
| C10 | <b>Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, CIEMAT</b> ( <a href="http://www.ciemat.es">www.ciemat.es</a> )                            | Los ámbitos de investigación del CIEMAT son en esencia concurrentes con los de este Programa de Doctorado. La colaboración entre la UPM y el Ciemat se enmarca en el Convenio de Cooperación Científica firmado en noviembre de 1983 (con la entonces Junta de Energía Nuclear). Dicha colaboración comprende la realización de proyectos de investigación conjuntamente, y han sido y son objeto de tesis doctorales codirigidas en numerosas ocasiones, dentro de ambas líneas de investigación del Programa de Doctorado.                                                                                                                                                                                                       | Público |
| C11 | <b>Institute of Laser Engineering (ILE) Universidad de Osaka</b><br><a href="http://www.ile.osaka-u.ac.jp/index_e.html">http://www.ile.osaka-u.ac.jp/index_e.html</a> | En Marzo de 2011 se firmó Memorandum of Understanding (MoU); acuerdo entre el ILE y la UPM a través del Instituto de Fusión Nuclear, para investigaciones en las áreas de Fusión Nuclear por Láser, incluyendo la tecnología láser y sus aplicaciones. Por lo tanto encaja plenamente en la línea de “Ciencia y Tecnología Nuclear” del Programa de Doctorado, en su apartado de fusión nuclear.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Pública |
| C12 | <b>The Graduate School of Engineering de la</b>                                                                                                                       | En Septiembre 2011 se firmó un Memorandum of Understanding                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Pública |

|     |                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |         |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
|     | <b>Universidad de Osaka</b><br><a href="http://www.eng.osaka-u.ac.jp/en/index.html">http://www.eng.osaka-u.ac.jp/en/index.html</a>                                        | (MoU); acuerdo que contempla la colaboración de profesores y estudiantes, incluyendo doctorandos, en todas las áreas de ingeniería nuclear, incluyendo reactores avanzados, gestión de residuos, usos de la radiación para diagnóstico.                                                                                                        |         |
| C13 | <b>Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics (SIOM), Chinese Academy of Sciences (CAS)</b><br><a href="http://english.siom.cas.cn/">http://english.siom.cas.cn/</a> | En Septiembre de 2009 se firmó un Memorandum of Understanding (MoU); este acuerdo incluye las áreas de la fusión nuclear por láser incluyendo el uso de láser y su desarrollo en áreas muy diversas. Por lo tanto encaja plenamente en la línea de "Ciencia y Tecnología Nuclear" del Programa de Doctorado, en su apartado de fusión nuclear. | Pública |
| C14 | <b>Universidad Nacional General San Martín. Buenos Aires (Argentina)</b><br><a href="http://www.unsam.edu.ar/">http://www.unsam.edu.ar/</a>                               | Fomentar el intercambio recíproco de información sobre temas de investigación, cursos de postgrado y cursos de doctorado, otros materiales de investigación y docencia.<br>El acuerdo es efectivo para los Institutos de Investigación Dan Benisón y Sábado.                                                                                   | Pública |

### Otras colaboraciones

Además de las colaboraciones con organizaciones indicadas en el apartado anterior, los profesores y grupos de investigación del Programa de Doctorado mantienen relaciones estrechas con las siguientes organizaciones y universidades. En varios casos hay acuerdos de colaboración firmados, aunque no incluyen explícitamente el apoyo al doctorado o el intercambio de estudiantes. Hay que destacar la integración en plataformas y asociaciones que potencian la coordinación de actividades de investigación, fundamentalmente en el ámbito europeo. Todas estas colaboraciones sirven para potenciar y enmarcar muchas actividades de investigación relacionadas con el desarrollo de las tesis doctorales, tales como acceso a experimentos, cesión de datos, participación en reuniones sobre temas avanzados de investigación, etc.

| Código | Institución                                                                                                                         | Descripción de la colaboración                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Naturaleza de la institución |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
|        | <b>Sustainable Nuclear Energy Technology Platform (SNETP)</b><br>( <a href="http://www.snetp.eu">www.snetp.eu</a> )                 | La Plataforma para la Energía Nuclear Sostenible (SNETP) se estableció en 2007 con 35 miembros, entre ellos la UPM. Actualmente tiene 105 miembros. La Plataforma promueve y coordina las actividades de investigación en el campo de la fisión nuclear, por lo que guarda directa relación con las actividades a realizar por los doctorandos de la línea "Ciencia y Tecnología Nuclear". Los miembros proceden de la industria, la investigación, los organismos de seguridad, universidades y organizaciones no-gubernamentales de Europa, todos con un interés común en el desarrollo de la fisión nuclear, de forma segura y sostenible. Los objetivos de SNETP están estrechamente alineados con los del SET-Plan de la UE. | Privado                      |
|        | <b>International Association for Hydrogen Safety HySafe (IA HySafe)</b><br>( <a href="http://www.hysafe.info">www.hysafe.info</a> ) | La Asociación aspira a ser el punto clave para la investigación, transferencia de tecnología, educación y entrenamiento de cara a la seguridad en las aplicaciones del hidrógeno. La UPM es socio fundador junto con otros 25 socios de 12 países. Uno de los objetivos es promover la investigación coordinada, por lo que encaja de lleno en la realización de tesis doctorales. La implicación del hidrógeno en seguridad nuclear quedó puesta de manifiesto en el accidente de Fukushima.                                                                                                                                                                                                                                     | Privada                      |

|  |                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |         |
|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
|  | <b>EURADOS (The European Radiation Dosimetry Group,</b><br><a href="http://www.eurados.org">www.eurados.org</a> )                                                                  | La asociación EURADOS reúne a más de 50 laboratorios y universidades con el objetivo de promover la I+D en dosimetría de las radiaciones y la cooperación europea en ese campo, incluyendo la oferta de becas doctorales. Fomenta el intercambio de investigadores y las intercomparaciones. La UPM se integró en EURADOS en 2003.                                                                                                                                                                                                                     | Privada |
|  | <b>NERIS (European Platform on Preparedness for Nuclear and Radiological Emergency Response and Recovery,</b><br><a href="http://www.eu-neris.net/">http://www.eu-neris.net/</a> ) | La Plataforma NERIS reúne a 45 organismos reguladores, organizaciones apoyo técnico en seguridad, autoridades locales, operadores nucleares, universidades, etc.) bajo el interés común en mejorar la respuesta a los accidentes y emergencias radiológicas y nucleares. La UPM es miembro fundador. Desde el punto de vista de la investigación, coordina el desarrollo de herramientas de apoyo a la decisión para la búsqueda de estrategias de intervención óptima, que podrían ser objeto de nuevas tesis doctorales.                             | Privada |
|  | <b>Institute for Advanced Sustainability Studies (IASS,</b><br><a href="http://www.iass-potsdam.de/">http://www.iass-potsdam.de/</a> )                                             | Entre el IASS y la UPM se estableció en febrero de 2012 un Convenio de colaboración para la I+D en energía solar de concentración para la generación de electricidad. Se potencia con él la línea de investigación en energías renovables del Programa de Doctorado.                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Privado |
|  | <b>Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL), USA</b><br><a href="https://www.llnl.gov">https://www.llnl.gov</a>                                                               | En Junio 2011 se estableció un Memorandum of Understanding (MoU) entre dicho laboratorio y la Universidad Politécnica de Madrid a través del Instituto de Fusión Nuclear. Se contempla en dicho acuerdo la física de materia a muy alta densidad de energía y tecnología de fusión nuclear inercial: Se incluyen áreas relacionadas con aspectos nucleares que son de interés en la seguridad, materiales, salvaguardias nucleares en general. Por lo tanto encaja plenamente en la línea de "Ciencia y Tecnología Nuclear" del Programa de Doctorado. | Público |

|  |                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |         |
|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
|  | <b>The Graduate School for the Creation of New Photonics Industries (GPI); Hamamatsu Industries.</b><br><a href="http://www.gpi.ac.jp/en/index.html">http://www.gpi.ac.jp/en/index.html</a> | En 2011 se firmó un Memorandum of Understanding (MoU); acuerdo con ese centro de la Empresa Hamamatsu para el desarrollo de tecnologías basadas en el uso de la radiación y la diagnosis no destructiva de las baterías de Litio, con potencial aplicación en las tecnologías de energías renovables, que son objeto del Programa. | Privada |
|  | Commissariat l'Énergie Atomique (CEA) Francia y el CELIA en Burdeos<br><a href="http://www.celia.u-bordeaux1.fr/?lang=fr">http://www.celia.u-bordeaux1.fr/?lang=fr</a>                      | En áreas relativas a Fusión nuclear por Láser; Materiales bajo irradiación y avanzados tanto en fisión como en fusión nuclear. Frecuentes ofertas de becas pre- y post-doctorales en las líneas de investigación del Programa.                                                                                                     | Pública |
|  | Los Alamos National Laboratory, EE.UU.<br><a href="http://www.lanl.gov/">(www.lanl.gov/)</a>                                                                                                | Colaboración en Física de la Materia a Alta Densidad y en efectos de Materiales bajo irradiación y avanzados. Dentro de la línea de investigación del Programa "Ciencia y Tecnología Nuclear" en su apartado de fusión nuclear.                                                                                                    | Pública |
|  | Oak Ridge National Laboratory, EE.UU.<br><a href="http://www.ornl.gov">www.ornl.gov</a>                                                                                                     | Colaboración en Fuente Neutrónicas de Espalación y Materiales en Condiciones extremas. Dentro de la línea de investigación del Programa "Ciencia y Tecnología Nuclear".                                                                                                                                                            | Pública |
|  | Sandia National Laboratory, EE.UU. ( <a href="http://www.sandia.gov">www.sandia.gov</a> )                                                                                                   | Colaboración en aplicaciones de códigos empleados en análisis de accidentes en centrales nucleares (MELCOR, MACCS,...). Generación de iones de alta energía para experimentos en materiales nucleares. Dentro de la línea de investigación del Programa "Ciencia y Tecnología Nuclear".                                            | Pública |
|  | SCK Mol (Bélgica)<br><a href="http://www.sckcen.be/">http://www.sckcen.be/</a>                                                                                                              | En el área de Materiales Nucleares.                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Pública |
|  | Rutherford Appleton Laboratory (Central Laser Facility)<br><a href="http://www.stfc.ac.uk/About+STFC/51.aspx">http://www.stfc.ac.uk/About+STFC/51.aspx</a>                                  | En el área de Fusión por Láser y Láseres en general con sus usos en generación de iones para la industria y la medicina. Fuentes de Neutrones por Espalación. Dentro de la línea de investigación del Programa "Ciencia y Tecnología Nuclear" en su apartado de fusión nuclear.                                                    | Pública |
|  | GSI Darmstadt (Alemania)                                                                                                                                                                    | En el área de uso de iones pesados y generación por láser; materiales                                                                                                                                                                                                                                                              | Pública |

|  |                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |         |
|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
|  | <a href="http://www.gsi.de/">http://www.gsi.de/</a>                                                                                | avanzados. Dentro de la línea de investigación del Programa “Ciencia y Tecnología Nuclear” en su apartado de fusión nuclear.                                                                                                                                                                                                                                                                                             |         |
|  | Lebedev Physical Institute (Rusia)<br><a href="http://www.lebedev.ru/en/">http://www.lebedev.ru/en/</a>                            | En el área de Física de Alta Densidad de Energía; Fusión por Láser y Materiales bajo condiciones extremas. Dentro de la línea de investigación del Programa “Ciencia y Tecnología Nuclear” en su apartado de fusión nuclear.                                                                                                                                                                                             | Pública |
|  | Helmholtz Zentrum Dresden Rossendorf (Alemania)<br><a href="http://www.hzdr.de/db/Cms?pNid=0">http://www.hzdr.de/db/Cms?pNid=0</a> | En el área de la física de materiales; irradiación con iones, caracterización de especies ligeras en materiales con interés en fusión. Dentro de la línea de investigación del Programa “Ciencia y Tecnología Nuclear” en su apartado de fusión nuclear.                                                                                                                                                                 | Pública |
|  | Joint Research Centre de la Unión Europea.. Ispra (Italia)                                                                         | Desde hace varios años se colabora con sus investigadores en materia de metodologías de medida de emisiones contaminantes en el transporte, con posibles becas pre-doctorales dentro del Programa.                                                                                                                                                                                                                       | Pública |
|  | ENDESA                                                                                                                             | Colaboración en investigación sobre limpieza de compresores de turbinas de gas, temática que encaja directamente en la línea de Investigación sobre “Energías Renovables, Combustibles y Medio Ambiente”.                                                                                                                                                                                                                | Privada |
|  | Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía                                                                           | Convenio de Colaboración a través de la Fundación para el Fomento de la Innovación Industrial (de la ETSII-UPM) en materia de apoyo técnico en temas relativos a eficiencia energética y otras actividades en el ámbito de la diversificación y ahorro de la energía en diferentes sectores industriales, directamente relacionado la línea de Investigación sobre “Energías Renovables, Combustibles y Medio Ambiente”. | Pública |
|  | Repsol. Centro Técnico                                                                                                             | Diversas colaboraciones en materia de investigación sobre combustibles y emisiones de motores de combustión interna.                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Privada |

|  |  |                                                                                                                                                                                            |  |
|--|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
|  |  | Tutela de trabajos de iniciación a la investigación de la Fundación Repsol, directamente relacionado la línea de Investigación sobre “Energías Renovables, Combustibles y Medio Ambiente”. |  |
|--|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|

Además, se mantienen colaboraciones activas, a través del Instituto de Fusión Nuclear, con incidencia directa en la investigación de los alumnos en el desarrollo de sus tesis doctorales en la línea de “Ciencia y Tecnología Nuclear” del Programa de Doctorado, en su apartado de fusión nuclear, con las siguientes universidades y centros de investigación:

- Universidad Carlos III
- Universidad Autónoma de Madrid
- Universidad Complutense de Madrid
- CIEMAT
- Universidad de Oviedo
- Universidad Politécnica de Cataluña
- Universidad de Alicante
- Instituto de Nanociencia de Aragón
- Universidad de Zaragoza
- Laboratorio de Instrumentación Espacial, INTA
- ITER Cadarache (Francia)
- University of Reno, Berkeley (EEUU)
- University of Thrace (Grecia)
- Consejo Superior de Investigaciones Científicas, CSIC:
  - o Instituto de Microelectrónica de Madrid
  - o Instituto de Química-Física Rocasolano
  - o Instituto de Óptica Daza de Valdés
  - o Instituto de Ciencia de Materiales de Barcelona
  - o Instituto de Ciencia de Materiales de Zaragoza

## 2. COMPETENCIAS.

### 2.1. COMPETENCIAS BÁSICAS, CAPACIDADES Y DESTREZAS PERSONALES Y OTRAS COMPETENCIAS

De acuerdo con lo estipulado en el Real Decreto 99/2011, el objetivo de los programas de doctorado es la formación de aquellos investigadores que han de liderar y cooperar en la incorporación de las principales recomendaciones surgidas de los distintos foros europeos e internacionales. Para ello, todo programa de doctorado debe de garantizar que el doctorando adquiera, al menos, las siguientes competencias.

#### COMPETENCIAS BÁSICAS

**CB01.** Comprensión sistemática de un campo de estudio y dominio de las habilidades y métodos de investigación relacionados con dicho campo.

**CB02.** Capacidad de concebir, diseñar o crear, poner en práctica y adoptar un proceso sustancial de investigación o creación.

**CB03.** Capacidad para contribuir a la ampliación de las fronteras del conocimiento a través de una investigación original.

**CB04.** Capacidad de realizar un análisis crítico y de evaluación y síntesis de ideas nuevas y complejas.

**CB05.** Capacidad de comunicación con la comunidad académica y científica y con la sociedad en general acerca de sus ámbitos de conocimiento en los modos e idiomas de uso habitual en su comunidad científica internacional.

**CB06.** Capacidad de fomentar, en contextos académicos y profesionales, el avance científico, tecnológico, social, artístico o cultural dentro de una sociedad basada en el conocimiento.

#### CAPACIDADES Y DESTREZAS PERSONALES

En el mismo Real Decreto, se establece que la obtención del título de Doctor debe proporcionar una alta capacitación profesional en ámbitos diversos, especialmente en aquellos que requieren creatividad e innovación. Al finalizar sus estudios, los doctores egresados habrán adquirido al menos las **capacidades y destrezas personales** para:

**CA01.** Desenvolverse en contextos en los que hay poca información específica.

**CA02.** Encontrar las preguntas claves que hay que responder para resolver un problema complejo.

**CA03.** Diseñar, crear, desarrollar y emprender proyectos novedosos e innovadores en su ámbito de conocimiento.

**CA04.** Trabajar tanto en equipo como de manera autónoma en un contexto internacional o multidisciplinar.

**CA05.** Integrar conocimientos, enfrentarse a la complejidad y formular juicios con información limitada.

**CA06.** La crítica y defensa intelectual de soluciones.

### COMPETENCIAS ESPECÍFICAS DEL PROGRAMA

No se considera ninguna competencia específica

| 2.1. Competencias básicas, capacidades y destrezas personales y otras competencias         |         |                                                                                                                                          |                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Básicas                                                                                    |         |                                                                                                                                          |                                                                                                |
| Editar                                                                                     | Código  | Competencia                                                                                                                              |                                                                                                |
|           | CB11    | Comprensión sistemática de un campo de estudio y dominio de las habilidades y métodos de investigación relacionados con dicho c...       |                                                                                                |
|           | CB12    | Capacidad de concebir, diseñar o crear, poner en práctica y adoptar un proceso sustancial de investigación o creación.                   |                                                                                                |
|           | CB13    | Capacidad para contribuir a la ampliación de las fronteras del conocimiento a través de una investigación original.                      |                                                                                                |
|           | CB14    | Capacidad de realizar un análisis crítico y de evaluación y síntesis de ideas nuevas y complejas.                                        |                                                                                                |
|           | CB15    | Capacidad de comunicación con la comunidad académica y científica y con la sociedad en general acerca de sus ámbitos de cono...          |                                                                                                |
|           | CB16    | Capacidad de fomentar, en contextos académicos y profesionales, el avance científico, tecnológico, social, artístico o cultural dentr... |                                                                                                |
| Capacidades y destrezas personales                                                         |         |                                                                                                                                          |                                                                                                |
| Editar                                                                                     | Código  | Capacidad y/o destreza personal                                                                                                          |                                                                                                |
|           | CA01    | Desenvolverse en contextos en los que hay poca información específica.                                                                   |                                                                                                |
|           | CA02    | Encontrar las preguntas claves que hay que responder para resolver un problema complejo.                                                 |                                                                                                |
|           | CA03    | Diseñar, crear, desarrollar y emprender proyectos novedosos e innovadores en su ámbito de conocimiento.                                  |                                                                                                |
|         | CA04    | Trabajar tanto en equipo como de manera autónoma en un contexto internacional o multidisciplinar.                                        |                                                                                                |
|         | CA05    | Integrar conocimientos, enfrentarse a la complejidad y formular juicios con información limitada.                                        |                                                                                                |
|         | CA06    | La crítica y defensa intelectual de soluciones.                                                                                          |                                                                                                |
| Otras Competencias                                                                         |         |                                                                                                                                          |                                                                                                |
|                                                                                            | Código  | Competencia                                                                                                                              | Nueva competencia                                                                              |
|  Editar | Ninguna | No se considera ninguna competencia específica                                                                                           |  Eliminar |

### 3. ACCESO Y ADMISIÓN DE ESTUDIANTES.

#### 3.1. SISTEMAS DE INFORMACIÓN PREVIA A LA MATRÍCULA EN LA UPM

La información sobre los estudios de doctorado, tanto de carácter general, como la específica del programa, estará accesible de modo permanente, especialmente en formato electrónico en las páginas electrónicas y URLs que se indican más adelante.

De forma particular estará disponible la información de carácter general sobre los estudios de doctorado en España, los requisitos específicos de la Universidad Politécnica de Madrid y todo lo relativo a la estructura y funcionamiento del programa, incluyendo de forma particular los perfiles de ingreso recomendados, los periodos de preinscripción y los procedimientos de selección de los estudiantes.

Toda esta información estará disponible por varias vías que se describen a continuación:

#### VÍAS Y REQUISITOS DE ACCESO AL PROGRAMA DE DOCTORADO

El RD 99/2011 que regula los estudios de doctorado puede consultarse en la siguiente URL de la web de la UPM:

<http://www.upm.es/sfs/Rectorado/Vicerrectorado%20de%20Doctorado%20y%20Postgrado/Negociados%20de%20Doctorado%20y%20Postgrado/Normativas/RD%2099%202011%20BOE-A-2011-2541.pdf>

El Consejo de Gobierno de la UPM, en su sesión celebrada el 21 de diciembre de 2011, aprobó el Modelo de Doctorado que regula los estudios de doctorado en la Universidad Politécnica de Madrid, y que supone su adaptación al Real Decreto 99/2011. Este modelo puede consultarse en la siguiente URL:

[http://www.upm.es/sfs/Rectorado/Legislacion%20y%20Normativa/Normativa/Normativa%20Academica/Modelo%20Doctorado\\_21-12-2011.pdf](http://www.upm.es/sfs/Rectorado/Legislacion%20y%20Normativa/Normativa/Normativa%20Academica/Modelo%20Doctorado_21-12-2011.pdf)

De acuerdo con este modelo, los requisitos de acceso al doctorado son los siguientes:

1. Con carácter general, para el acceso a un programa de doctorado será necesario estar en posesión de los títulos oficiales españoles de Grado, o equivalente, y de Máster Universitario.
2. Asimismo podrán acceder quienes se encuentren en alguno de los siguientes supuestos:
  - 1) Estar en posesión de un título universitario oficial español, o de otro país integrante del Espacio Europeo de Educación Superior, que habilite para el acceso a Máster de acuerdo con lo establecido en el artículo 16 del Real Decreto 1393/2007, de 29 de octubre y haber superado un mínimo de 300 créditos ECTS en el conjunto de estudios universitarios oficiales, de los que, al menos 60, habrán de ser de nivel de Máster.
  - 2) Estar en posesión de un título oficial español de Graduado o Graduada, cuya duración, conforme a normas de derecho comunitario, sea de al menos 300 créditos

ECTS. Dichos titulados deberán cursar con carácter obligatorio complementos de formación, salvo que el plan de estudios del correspondiente título de grado incluya créditos de formación en investigación, equivalentes en valor formativo a los créditos en investigación procedentes de estudios de Máster.

3) Los titulados universitarios que, previa obtención de plaza en formación en la correspondiente prueba de acceso a plazas de formación sanitaria especializada, hayan superado con evaluación positiva al menos dos años de formación de un programa para la obtención del título oficial de alguna de las especialidades en Ciencias de la Salud.

4) Estar en posesión de un título obtenido conforme a sistemas educativos extranjeros, sin necesidad de su homologación, previa comprobación por la universidad de que éste acredita un nivel de formación equivalente a la del título oficial español de Máster Universitario y que faculta en el país expedidor del título para el acceso a estudios de doctorado. Esta admisión no implicará, en ningún caso, la homologación del título previo del que esté en posesión el interesado ni su reconocimiento a otros efectos que el del acceso a enseñanzas de Doctorado.

5) Estar en posesión de otro título español de Doctor obtenido conforme a anteriores ordenaciones universitarias.

## PERFILES DE INGRESO RECOMENDADOS

Para orientar a los interesados acerca de las características que se consideran idóneas para iniciar los estudios de doctorado, así como impulsar acciones compensadoras ante posibles deficiencias, se informará a los potenciales candidatos de los perfiles tipo de acceso al programa, incluyendo una breve descripción de las competencias, conocimientos previos, lenguas a utilizar en el proceso formativo y el nivel exigido en las mismas, etc. que, en general, se consideran adecuadas para aquellas personas que vayan a comenzar los estudios de doctorado en el Programa:

### **Competencias generales**

- Habilidad para la lectura y comprensión de textos.
- Buena comunicación oral y escrita.
- Interés por la investigación en el área de la Energía en general o de la Energía Nuclear o de las Energías Renovables en particular; así como en los conocimientos disciplinares básicos que sustentan el área de energía.
- Capacidad creativa y analítica en la búsqueda de soluciones a problemas concretos.
- Capacidad de observación, iniciativa y disposición al trabajo en equipo.

### **Conocimientos previos**

- Estar en posesión de un título de máster, ingeniero o licenciado en el ámbito de la Ingeniería Industrial, especialidad en Técnicas Energéticas, o de Ingeniería de la Energía.
- Estar en posesión del título de Máster en Ciencia y Tecnología Nuclear.
- Estar en posesión de un título de máster en Ingeniería Industrial o equivalente a los títulos de Ingeniero Industrial o equivalente para planes de estudios anteriores al RD 1393/2007, todos ellos en la especialidad Técnicas Energéticas.
- Estar en posesión de un título de Ingeniero de Minas, Licenciado en Ciencias Físicas o equivalente.
- Además de la titulación anterior, un nivel de conocimiento equivalente al B2 de lengua inglesa, lengua que se utilizará ampliamente durante el proceso formativo.

### CANALES DE DIFUSIÓN

Se incluyen a continuación los canales de difusión que se emplearán para informar a los potenciales estudiantes sobre el programa de doctorado y sobre el proceso de matriculación.

#### **Conferencias informativas**

En la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la UPM se organizan anualmente conferencias informativas sobre las especialidades y las distintas titulaciones de postgrado que se imparten en la misma, a fin de que los estudiantes de niveles inferiores puedan orientarse adecuadamente. Las conferencias son anunciadas con muchos meses de antelación a través del Proyecto de Organización Docente de la Escuela (que se puede consultar en la URL: <http://www.etsii.upm.es/estudios/pod/index.es.htm>). Esa misma política se aplicará con relación a la promoción del Programa entre los estudiantes de los distintos títulos de máster en los que la Escuela participa, y en particular los de Ingeniería Industrial, Ciencia y Tecnología Nuclear e Ingeniería de la Energía.

#### **Difusión en la web.**

La Universidad Politécnica de Madrid dispone de una dirección URL habilitada para acceder a toda la información general de sus programas oficiales de doctorado, de modo que el potencial doctorando no tenga que desplazarse:

[http://www.upm.es/institucional/Estudiantes/Estudios\\_Titulaciones/Estudios\\_Doctorado/Portada](http://www.upm.es/institucional/Estudiantes/Estudios_Titulaciones/Estudios_Doctorado/Portada)

En esta página, el alumno puede encontrar la oferta de programas oficiales de doctorado de la Universidad Politécnica de Madrid (pudiéndose realizar búsquedas según diversos criterios), incluyéndose la información (y presentación) correspondiente al Doctorado en Energía Sostenible Nuclear y Renovable. El potencial doctorando puede acceder, desde esta misma dirección URL, a la información sobre el proceso de admisión (incluyendo un enlace para realizar la solicitud telemática, información sobre documentación requerida, modo de notificación del resultado del proceso de admisión, etc.), proceso de matrícula y calendario.

Asimismo, en la dirección URL <http://www.upm.es/institucional/Estudiantes> , la Universidad Politécnica de Madrid suministra información sobre:

- La vida académica general (convalidaciones, calendario académico, oferta de asignaturas, convenios con otras instituciones y universidades).
- Becas y ayudas.
- Movilidad y programas de intercambio dentro de programas nacionales e internacionales.
- Empleo y prácticas.
- Atención al alumno
- Cursos de verano.
- Asociaciones de estudiantes.
- Actividades deportivas.
- Servicios en red.
- Biblioteca universitaria.
- Defensor universitario.
- ... Etcétera.

La Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales informa en su página web de todos los programas de doctorado que se imparten en la Escuela en la siguiente URL:

<http://www.etsii.upm.es/estudios/doctorado/index.htm>

La web de la UPM contiene amplia información sobre sus actividades de investigación, de forma particular en su Observatorio de I+D+i. (<http://www.upm.es/observatorio/vi/index.jsp>), donde los potenciales candidatos al programa pueden encontrar todo tipo de información sobre actividades realizadas (tesis doctorales, proyectos de investigación, publicaciones científicas, patentes, registros de software, etc.) en las líneas de investigación del Programa.

El Programa dispone de su propia página web, que en estos momentos se encuentra en proceso de adaptación al nuevo diseño del programa y del proceso de verificación. No obstante, puede encontrarse esta información sin actualizar del programa en Ciencia y Tecnología Nuclear del que proviene una de las líneas de investigación, en la siguiente URL:

<http://www.din.upm.es/drupal/?q=node/105>

En ella se detallan los siguientes aspectos sobre el Programa: descripción del título; justificación; objetivos; acceso y admisión; estructura de complementos de formación según perfiles tipo de acceso; investigación/Tesis Doctoral; movilidad y colaboraciones internacionales; personal académico; recursos materiales y Convenios; resultados previstos.

### **Difusión electrónica.**

La Comisión Académica del Programa de Doctorado establecerá cada año un plan para la difusión electrónica del programa mediante correo electrónico. Se supervisarán los materiales a enviar, así como las listas de distribución en cada curso académico. Toda la información se distribuirá al menos en español y en inglés. Se emplearán listas de distribución en el ámbito universitario en todo el mundo.

### **Difusión en ferias y salones del estudiante.**

La UPM participa en numerosas ferias y salones del estudiante en todo el mundo. Generalmente estas ferias prestan mucha atención a los programas de posgrado y de forma

muy particular a los de doctorado. La UPM dispone de folletos y carteles para todos los programas de doctorado siendo uno de los canales de información que demanda muchas expresiones de interés por parte de los estudiantes de todo el mundo.

El Programa continuará apoyando esta política general de la UPM colaborando activamente en la elaboración de los materiales necesarios para la difusión de los estudios de doctorado.

### **Difusión del Programa de Doctorado en Conferencias y Seminarios.**

Con frecuencia los profesores del Programa tienen oportunidad de presentar el Programa en conferencias internacionales, reuniones y seminarios en todo el mundo. El Programa de Doctorado continuará apoyando esta política poniendo a disposición de los profesores participantes presentaciones estándar, folletos y materiales de difusión que faciliten esta actividad y permitan transmitir una información homogénea en todas estas iniciativas.

### **Acogida y orientación para los estudiantes de nuevo ingreso**

En caso de ser admitidos, los estudiantes de nuevo ingreso pueden encontrar en la página web de la UPM, ([www.upm.es](http://www.upm.es)), el procedimiento de matriculación en el Programa de Doctorado para estudiantes españoles, comunitarios y no comunitarios.

Los aspirantes no admitidos podrán presentar una reclamación en el plazo y forma establecidos en cada convocatoria. Una vez finalizado el plazo de reclamaciones y resueltas éstas, se remitirá la relación de alumnos, finalmente admitidos, al órgano de gestión de alumnos correspondiente, a efectos de poder formalizar su matrícula en el plazo que se señale. De no formalizar su matrícula, el solicitante decaerá en sus derechos.

La acogida y orientación a los alumnos de nuevo ingreso recae en su tutor. En el momento de su admisión al programa de doctorado, a cada doctorando le será asignado por la CAPD un tutor, doctor y con acreditada experiencia investigadora (artículo 6 del Reglamento de elaboración y evaluación de la Tesis Doctoral de la UPM). Al tutor le corresponde orientar al doctorando en las actividades formativas y de investigación del Programa desde su inicio.

## **3.2.- REQUISITOS DE ACCESO Y CRITERIOS DE ADMISIÓN**

Las vías y requisitos de acceso han sido detallados en el apartado 3.1. Se indican a continuación los criterios de admisión al programa.

### **CRITERIOS DE ADMISIÓN**

La admisión a un Programa de Doctorado de la UPM se regirá por los criterios específicos del Programa siempre que cumpla las condiciones generales de admisión de la UPM.

Una vez verificado que se cumplen los criterios de acceso y las condiciones generales de admisión de la UPM, la Comisión Académica del Programa de Doctorado (cuya composición y funciones se indican más adelante) se ocupará de realizar la selección y admisión de

alumnos, de acuerdo al cupo establecido y a determinados criterios asociados al Programa de Doctorado.

Con carácter general la admisión de los estudiantes será considerada de forma totalmente individualizada, habida cuenta de la muy variada procedencia de los candidatos. Se tendrá en cuenta especialmente su historial académico, realizándose una entrevista personal, bien presencial, bien mediante cualquiera de los sistemas comerciales de teleconferencia (*Skype* o similares).

La Comisión Académica valorará la adecuación de los candidatos a **los perfiles tipo de acceso**, pudiendo establecer cuando sea necesario complementos de formación que se explicitarán detalladamente en caso de aceptación del candidato.

No obstante, insistiendo en la necesidad de un tratamiento individualizado de cada candidato, a continuación se señalan algunos criterios que pueden ser de aplicación a un número elevado de ellos, en función de la experiencia previa acumulada en los últimos años.

### **Perfiles tipo de acceso**

Se establecen como **perfiles tipo** para su admisión directa al Programa los siguientes, sin exclusión de otros que a juicio de la Comisión Académica del Programa puedan considerarse equivalentes de cara a satisfacer los objetivos de formación del Programa:

- 1) **Perfil tipo 1:** Los estudiantes procedentes del Máster Universitario en Ingeniería Industrial (actualmente en preparación) que hayan cursado las asignaturas de la especialidad Técnicas Energéticas, incluyendo el Bloque de asignaturas de 15 ECTS de iniciación a la investigación, podrán acceder directamente al Programa.
- 2) **Perfil tipo 2:** Los estudiantes procedentes del Máster Universitario Ciencia y Tecnología Nuclear podrán acceder directamente al Programa dentro de la línea de Ciencia y Tecnología Nuclear.
- 3) **Perfil tipo 3:** Los estudiantes procedentes del Máster Universitario en Ingeniería de la Energía pueden requerir ciertos complementos formativos en función del trabajo de tesis doctoral que se plantee.
- 4) **Perfil tipo 4:** Los estudiantes procedentes del Máster Universitario en Ingeniería Industrial que no hayan cursado las asignaturas del Bloque de iniciación a la investigación, o que hayan seguido una especialidad diferente a la de Técnicas Energéticas, requerirán de complementos formativos.
- 5) Los estudiantes procedentes de otros másteres universitarios, programas de Licenciatura o Ingeniería anteriores al sistema de Bolonia, así como los procedentes de universidades extranjeras, deberán aportar información suficiente a partir de la cual la Comisión Académica del Programa de Doctorado pueda evaluar su formación previa. Estos alumnos deberán cursar complementos siempre que a juicio de la Comisión existan diferencias de formación de cara al Programa entre su perfil y el de alguno de **los perfiles tipo** indicados anteriormente. La Comisión Académica del Programa indicará en cada caso estos complementos de formación en caso de que el candidato sea admitido.

## Criterios de admisión y selección

Los criterios de admisión y selección de los estudiantes serán los siguientes, por orden de importancia:

- Con carácter general se dará preferencia a los estudiantes que se adecuen a **los perfiles tipo** de acceso frente a los que precisen complementos de formación. Igualmente tendrán prioridad los alumnos que tengan perfiles próximos a los definidos como "tipo" y que presenten un excelente historial académico.
- Para estudiantes con un grado de adecuación semejante a **los perfiles tipo** se tendrá en cuenta su historial académico, como elemento de comparación. Sin embargo habida cuenta de la diferente procedencia de los estudiantes se tendrá en consideración en la valoración de su historial los criterios de homologación de las calificaciones disponibles.
- Se valorará la experiencia profesional e investigadora, especialmente en actividades relacionadas con las áreas de especialización del Programa de Doctorado.
- Se valorará la acreditación que certifique conocimientos suficientes de lengua inglesa.
- Se valorará la carta de motivación que se exige a los candidatos mostrando su interés por cursar el Programa de Doctorado, y la temática específica razonada en la que le gustaría investigar en caso de ser admitido, considerando en primer lugar si dicha temática se adapta a las líneas del investigación del Programa. En segundo lugar, se valorarán los argumentos que el candidato ofrezca sustentados en hechos comprobables de su *currículum*. Por último, se tendrán en cuenta otras circunstancias del candidato que este quiera destacar.
- Se valorará la entrevista en persona o por teleconferencia que los candidatos habrán de tener con al menos un miembro de la Comisión Académica del Programa de Doctorado. En dicha entrevista se revisarán los aspectos reflejados en el *currículum* del candidato que avalen su interés por iniciar un doctorado en el Programa. En segundo lugar se realizará una prueba de diálogo en inglés sobre temas relacionados con las líneas de investigación del Programa. También se valorarán los demás argumentos que el candidato desee formular para apoyar su motivación por la investigación en las líneas del Programa.

Los anteriores criterios se valorarán de la siguiente forma, sumando los puntos que se indican para cada criterio:

- Adecuación a perfiles tipo:
  - o Sin necesidad de complementos formativos: 5 puntos
  - o Con necesidad de complementos formativos: de 1 a 4 puntos según el número de ECTS requeridos: 12 ECTS o menos, 4 puntos; 30 ECTS, 1 punto.
- Puntuación media del expediente académico de Grado y Máster (o de primero y segundo ciclo): hasta 5 puntos.

- Experiencia profesional e investigadora:
  - o en actividades relacionadas con las áreas de especialización del Programa de Doctorado: 1 punto por año.
  - o En otras áreas: 0,5 puntos por año.
- Certificación de conocimientos de lengua inglesa: hasta 2 puntos.
- Carta de motivación: hasta 2 puntos
- Entrevista personal: hasta 3 puntos

La máxima puntuación no excederá de 20 puntos.

La puntuación obtenida y su composición se archivarán en la ficha personal del alumno del Programa.

#### **Estudiantes a tiempo parcial**

Los estudiantes a tiempo parcial (un máximo del 50% de admitidos al Programa) estarán sujetos a la normativa general de la UPM en lo que se refiere a esa modalidad de enseñanza (artículo 2 del Reglamento: [http://www.upm.es/institucional/FuturosEstudiantes/Estudios\\_Titulaciones/EstudiosOficialesDoctorado/Tesis/ElaboracionTesis](http://www.upm.es/institucional/FuturosEstudiantes/Estudios_Titulaciones/EstudiosOficialesDoctorado/Tesis/ElaboracionTesis) )

#### **Alumnado con necesidades especiales**

Para los estudiantes con necesidades educativas especiales, se establecerán sistemas y servicios de apoyo y asesoramiento adecuados, que podrán determinar la necesidad de posibles adaptaciones curriculares, itinerarios o estudios alternativos. Todo ello se realizará coordinado con la Oficina para la Atención e Integración de Personas con Discapacidad de la UPM.

<http://www.upm.es/portal/site/institucional/menuitem.fa77d63875fa4490b99bfa04dff46a8/?vgnnextoid=bc3bb161b5493210VgnVCM10000009c7648aRCRD>

#### **Número previsto de estudiantes**

En la primera línea de investigación (*Ciencia y Tecnología Nuclear*) se tiene como referencia el Programa de Doctorado homónimo en el cual el número de alumnos ha evolucionado de 10 en el curso 2008-09 a 22 en el curso 2011-12 y 34 en el curso 2012-13.

Para la segunda línea de investigación (*Energía renovable, combustibles y medio ambiente*) no existe en la actualidad un programa de doctorado equivalente en la UPM. Sin embargo en los años anteriores se mantenía un programa de doctorado (540A - *Ingeniería Térmica y Fluidomecánica*, anterior al R.D. 56/2006) en el cual el número de alumnos matriculados ha sido en los últimos 5 años el siguiente:

Año 1: 26 estudiantes Año 2: 29 estudiantes Año 3: 27 estudiantes Año 4: 29 estudiantes Año 5: 37 estudiantes

Estos datos, unidos al número de alumnos del Programa de Doctorado en Ciencia y Tecnología Nuclear, que se incluye en la Tabla del epígrafe 3.3. hace razonable pensar en que el Programa propuesto pueda aspirar a una tasa de alumnos de nueva matriculación del orden de 20 cada año.

### 3.3. ESTUDIANTES

#### Número de estudiantes previsto

Para la segunda línea de investigación (Energía renovable, combustibles y medio ambiente) no existe en la actualidad un programa de doctorado equivalente en la UPM. Sin embargo en los años anteriores se mantenía un programa de doctorado (540A - Ingeniería Termica y Fluidomecanica, anterior al R.D. 56/2006) en el cual el número de alumnos matriculados ha sido en los últimos 5 años el siguiente:

Año 1: 26 estudiantes

Año 2: 29 estudiantes

Año 3: 27 estudiantes

Año 4: 29 estudiantes

Año 5: 37 estudiantes

Estos datos, unidos al número de alumnos del Programa de Doctorado en Ciencia y Tecnología Nuclear, que se incluye en la Tabla del epígrafe 3.3. hace razonable pensar en que el Programa propuesto pueda aspirar a una tasa de alumnos de nueva matriculación del orden de 20 cada año.

3.3. Estudiantes

Indique si el título está vinculado a un título previo :

**Títulos Previos**

|                                                                                            | Universidad                       | Título Previo                                                     | Nuevo Título                                                                                   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  Editar | Universidad Politécnica de Madrid | Programa Oficial de Doctorado en Ciencia y Tecnología Nuclear ... |  Eliminar |
|  Editar | Universidad Politécnica de Madrid | Doctor en Programa Oficial de Posgrado en Ciencia y Tecnol...     |  Eliminar |

**Últimos Cursos**

| Curso | Nº total estudiantes | Nº estudiantes de otros países. |
|-------|----------------------|---------------------------------|
| Año 1 | 34.0                 | 4.0                             |
| Año 2 | 22.0                 | 4.0                             |
| Año 3 | 17.0                 | 3.0                             |
| Año 4 | 15.0                 | 2.0                             |
| Año 5 | 10.0                 | 2.0                             |

### 3.4.- COMPLEMENTOS DE FORMACIÓN

#### Línea de investigación en Ciencia y Tecnología Nuclear

Para incorporarse a la línea de investigación en Ciencia y Tecnología Nuclear, el alumno debe demostrar a través de su expediente académico previo una adecuada capacitación para el desarrollo de las metodologías de simulación, de diseño y de análisis avanzado necesario en la investigación en dicha línea, esto es, de los Reactores de Fisión y de Fusión

Nuclear, incluyendo aspectos de sus ciclos de combustible y de seguridad, así como las aplicaciones de las radiaciones ionizantes. Su perfil debe reunir tanto los contenidos básicos disciplinares, como los de desarrollo tecnológico en las diferentes áreas que dicho objetivo comprende.

Para esta línea de investigación, el **perfil tipo** más idóneo es, lógicamente, el de los estudiantes procedentes del Máster Universitario en Ciencia y Tecnología Nuclear (**perfil tipo 2**).

Los estudiantes procedentes del Máster Universitario en Ingeniería Industrial (actualmente en preparación) que hayan cursado las asignaturas de la especialidad Técnicas Energéticas, incluyendo el Bloque de asignaturas de 15 ECTS de iniciación a la investigación en Ciencia y Tecnología Nuclear, reúnen similar capacitación, por lo que también podrán acceder directamente a esta línea de investigación dentro del Programa (**perfil tipo 1**).

Los estudiantes procedentes del Master Universitario de Ingeniería de la Energía - itinerario Energía Nuclear (**perfil tipo 3**), requerirán cursar como máximo 12 ECTS de complementos formativos en aquellas materias incluidas en el Máster en Ciencia y Tecnología Nuclear en las que se haga necesario un refuerzo para poder acometer la investigación planteada de cara a la tesis doctoral.

Todos los demás estudiantes requerirán un número variable de créditos en complementos formativos dependiendo de su historial académico previo. El objetivo de esos complementos formativos en todos los casos es situar al estudiante en el punto de partida para poder iniciar su investigación en las sub-líneas investigadoras del Departamento de Ingeniería Nuclear, que, en esencia, se orientan hacia:

- El 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.
- El desarrollo de proyectos de seguridad nuclear y protección radiológica vinculados a reactores existentes o reactores avanzados.
- El desarrollo de sistemas de fusión nuclear en sus versiones de confinamiento magnético e inercial, junto las metodologías para la simulación numérica necesaria, además del desarrollo de materiales adecuados y tecnología para dichos sistema.
- Los aceleradores de partículas y las fuentes de radiación y su utilización en la investigación física, y sus aplicaciones en la medicina e industria.

Los requisitos de complementos formativos a cumplir serán valorados de forma individualizada para cada estudiante por la Comisión Académica del Programa. En el caso de esta línea de investigación, dichos complementos se basarán en las asignaturas indicadas en la tabla siguiente, las cuales se imparten en los Grados y Másteres en los que el Departamento imparte docencia en el campo de la ciencia y tecnología nuclear, según se indica en la misma tabla.

## **ESTRUCTURA DE LA OFERTA DE COMPLEMENTOS FORMATIVOS PARA LA LÍNEA DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA NUCLEAR**

|    | Materia                                            | Titulación en la que se imparte* | Nº ECTS | Horas de aprendizaje |           |                                      |
|----|----------------------------------------------------|----------------------------------|---------|----------------------|-----------|--------------------------------------|
|    |                                                    |                                  |         | Teoría               | Prácticas | Trabajo personal y otras actividades |
| 1  | Tecnología Energética                              | GIEn / MIIn                      | 4,5     | 40                   | 2         | 75                                   |
| 2  | Estructura de la Materia                           | GITI / GIEn                      | 6       | 50                   | 10        | 90                                   |
| 3  | Tecnología Nuclear                                 | GITI / GIEn                      | 6       | 48                   | 12        | 86                                   |
| 4  | Centrales Nucleares                                | GITI / GIEn                      | 4,5     | 40                   | 5         | 80                                   |
| 5  | Protección Radiológica                             | GIEn / MIIn                      | 3       | 30                   | 7         | 40                                   |
| 6  | Física Nuclear                                     | MIEn                             | 4,5     | 50                   | 16        | 50                                   |
| 7  | Ampliación de Tecnología Nuclear                   | MIEn                             | 4,5     | 36                   | 8         | 62                                   |
| 8  | Introducción a la Seguridad Nuclear                | GIEn / MIIn                      | 3       | 40                   | 7         | 82                                   |
| 9  | Fusión Nuclear                                     | MIEn                             | 3       | 30                   | 10        | 40                                   |
| 10 | Fuentes intensas de radiación                      | GIEn / MIIn                      | 3       | 38                   | 8         | 40                                   |
| 11 | Diseño de Reactores Nucleares                      | MIEn                             | 3       | 25                   | 15        | 40                                   |
| 12 | Termohidráulica Nuclear                            | MCyTN                            | 4       | 30                   | 15        | 45                                   |
| 13 | Buques de Propulsión Nuclear                       | MCyTN                            | 3       | 30                   | 10        | 35                                   |
| 14 | Fundamentos de los Nanosistemas                    | MCyTN                            | 3       | 20                   | 15        | 40                                   |
| 15 | Tecnologías Avanzadas En Reactores de Fisión       | MCyTN / MIEn                     | 6       | 40                   | 30        | 80                                   |
| 16 | Separación y Transmutación de Residuos Radiactivos | MCyTN / MIEn                     | 3       | 20                   | 15        | 40                                   |
| 17 | Fusión Nuclear por Confinamiento Inercial          | MCyTN                            | 3       | 20                   | 15        | 40                                   |
| 18 | Teoría del Transporte de Partículas y Radiación    | MCyTN                            | 3       | 20                   | 15        | 40                                   |
| 19 | Fiabilidad y Análisis del Riesgo                   | MCyTN                            | 3       | 20                   | 15        | 40                                   |
| 20 | Métodos Numéricos para Fluidodinámica              | MCyTN                            | 6       | 48                   | 24        | 78                                   |
| 21 | Seguridad Nuclear                                  | MCyTN                            | 4       | 40                   | 10        | 50                                   |
| 22 | Gestión de Residuos Radiactivos                    | MCyTN / MIEn                     | 4       | 44                   | 16        | 40                                   |
| 23 | Impacto Radiológico Ambiental                      | MCyTN / MIEn                     | 3       | 30                   | 10        | 35                                   |

\* GITI – Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales  
 GIEn – Grado en Ingeniería de la Energía  
 MIEn – Máster Universitario en Ingeniería de la Energía (itinerario nuclear)  
 MIIn – Máster Universitario en Ingeniería Industrial (itinerario técnicas energéticas) *(previsto)*  
 MCyTN – Máster Universitario en Ciencia y Tecnología Nuclear *(previsto ofertarlas como optativas en el MIIn dentro del módulo de iniciación a la investigación)*

### Línea de investigación en energías renovables, combustibles y medio ambiente

Para incorporarse a la Línea de Investigación en Energías Renovables, Combustibles y Medio Ambiente, el alumno debe demostrar a través de su expediente académico previo unos conocimientos avanzados en materias científicas y tecnológicas como: Química, Termodinámica, Termotecnia, Mecánica de Fluidos, Máquinas y Motores Térmicos, y Máquinas Hidráulicas, así como una adecuada capacitación para el desarrollo de las metodologías de simulación, de diseño y de análisis avanzado necesario en la investigación en dicha línea, esto es, de los procesos de generación de energía mecánica, eléctrica y térmica a partir de fuentes de energía renovables, combustibles avanzados y sistemas

energéticos incluyendo aspectos de su eficiencia energética y su impacto ambiental. Su perfil debe reunir tanto los contenidos básicos disciplinares, como los de desarrollo tecnológico en las diferentes áreas que dicho objetivo comprende.

Para esta línea de investigación existen dos perfiles más idóneos que son los estudiantes provenientes tanto del Máster Universitario de Ingeniería Industrial como del Máster Universitario de Ingeniería de la Energía.

Los estudiantes procedentes del Máster Universitario en Ingeniería Industrial (actualmente en preparación) que hayan cursado las asignaturas de la especialidad Técnicas Energéticas, incluyendo el Bloque de asignaturas de 15 ECTS relacionadas con las Técnicas podrán acceder directamente a esta línea de investigación dentro del Programa (**perfil tipo 1**).

Los estudiantes procedentes del Master Universitario de Ingeniería de la Energía – itinerario de Energía Térmica y de Fluidos, reúnen similar capacitación, por lo que también podrán acceder directamente a esta línea de investigación dentro del Programa (**perfil tipo 2**).

Todos los demás estudiantes requerirán un número variable de créditos en complementos formativos dependiendo de su historial académico previo. El objetivo de esos complementos formativos en todos los casos es situar al estudiante en el punto de partida para poder iniciar su investigación en las sub-líneas investigadoras del que conforman esta línea de investigación, que, en esencia, se orientan hacia:

- El desarrollo de sistemas energéticos avanzados basados en energías renovables con nula emisión de carbono como la solar y la eólica, con nuevos requisitos de eficiencia energética y bajo impacto ambiental, incluyendo sistema de almacenamiento energético sostenible
- El desarrollo de nuevos combustibles para sistemas energéticos basados en máquinas y motores térmicos y otros sistemas de producción de calor y frío, incluyendo las metodologías de producción y el análisis ambiental de su ciclo de vida.
- La investigación y estudio de nuevos procesos energéticos que impliquen alta eficiencia energética, bajo impacto ambiental y baja emisión de carbono, incluyendo las metodologías de evaluación energética y medioambiental de dichos procesos.

Los requisitos de complementos formativos a cumplir serán valorados de forma individualizada para cada estudiante por la Comisión Académica del Programa. En el caso de esta línea de investigación, dichos complementos se basarán en las asignaturas indicadas en la tabla siguiente, las cuales se imparten en los Grados y Másteres en los que profesores del Departamento de Ingeniería Energética y Fluidomecánica imparten docencia, según se indica en la misma tabla.

#### **ESTRUCTURA DE LA OFERTA DE COMPLEMENTOS FORMATIVOS PARA LA LÍNEA DE ENERGÍAS RENOVABLES, COMBUSTIBLES Y MEDIO AMBIENTE**

|  | Materia | Titulación en la que se imparte* | Nº ECTS | Horas de aprendizaje |           |                                      |
|--|---------|----------------------------------|---------|----------------------|-----------|--------------------------------------|
|  |         |                                  |         | Teoría               | Prácticas | Trabajo personal y otras actividades |

|    |                                                    |             |     |    |    |    |
|----|----------------------------------------------------|-------------|-----|----|----|----|
| 1  | Ingeniería de Fluidos                              | GIEn / GITI | 4,5 | 40 | 5  | 80 |
| 2  | Tecnología Energética                              | GIEn / GITI | 4,5 | 40 | 5  | 80 |
| 3  | Calor y Frío Industrial                            | GIEn / GITI | 4,5 | 40 | 5  | 80 |
| 4  | Termodinámica Técnica                              | GIEn / GITI | 4,5 | 40 | 5  | 80 |
| 5  | Máquinas y Motores Volumétricos                    | GIEn / GITI | 3   | 30 | 10 | 40 |
| 6  | Centrales Térmicas                                 | GIEn / GITI | 4,5 | 40 | 5  | 80 |
| 7  | Tecnología de las Turbomáquinas                    | GIEn / GITI | 3   | 30 | 10 | 40 |
| 8  | Máquinas e Instalaciones Hidráulicas               | GIEn        | 4,5 | 40 | 5  | 80 |
| 9  | Técnicas de Aprovechamiento de Energías Renovables | GIEn        | 4,5 | 40 | 5  | 80 |
| 10 | Combustibles y la Combustión                       | MIEn        | 4,5 | 40 | 5  | 80 |
| 11 | Energía y Medio Ambiente                           | MIEn        | 3   | 40 | 7  | 82 |
| 12 | Tecnologías Ambientales                            | MIEn        | 4,5 | 40 | 5  | 80 |
| 13 | Combustión Industrial                              | MIEn        | 3   | 38 | 8  | 40 |
| 14 | Análisis Exergético y Termoeconómico de Procesos   | MIEn        | 3   | 30 | 10 | 40 |
| 15 | Energía Hidráulica                                 | MIEn        | 3   | 30 | 10 | 40 |
| 17 | Energía Eólica                                     | MIEn        | 3   | 30 | 10 | 40 |
| 18 | Energía Solar Térmica de Alta temperatura          | MIEn        | 3   | 30 | 10 | 40 |
| 19 | Diseño y Optimización de Sistemas Térmicos         | MIEn        | 3   | 30 | 10 | 40 |
| 20 | Tecnologías del Hidrógeno y Pilas de Combustible   | MIEn        | 3   | 30 | 10 | 40 |
| 21 | Tecnologías Frigoríficas y Aire Acondicionado      | MIEn        | 3   | 30 | 10 | 40 |
| 22 | Ingeniería de las Máquinas de Fluidos              | MIEn        | 4,5 | 40 | 5  | 80 |
| 23 | Centrales Termoeléctricas                          | MIEn        | 3   | 30 | 10 | 40 |

\* GITI – Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales  
 GIEn – Grado en Ingeniería de la Energía  
 MIEn – Máster Universitario en Ingeniería de la Energía

#### 4. ACTIVIDADES FORMATIVAS.

##### 4.1. ACTIVIDADES FORMATIVAS

##### 1. Cursos de iniciación a la investigación y gestión de I+D+i

**Nº de horas:** 50 (asistencia más preparación de trabajos de evaluación)

**Competencias a las que contribuye:** CB11 , CB13

**Descripción:** Esta es una actividad transversal de carácter obligatorio por el gran interés que tiene de cara a la formación de los investigadores. Gran parte de las actividades transversales se imparten en la actualidad como seminarios, pero en el futuro formarán parte de asignaturas regladas dentro de los másteres impartidos en la ETS de Ing. Industriales de la UPM. Estos seminarios están orientados a la iniciación a la investigación, en los siguientes apartados se detallan la información de los mismo.

Estas actividades se recomiendan para el primer año de realización de la tesis doctoral tanto para alumnos a tiempo total como parcial.

**Nombre seminario 1:** Introducción a la investigación

**Tipo:** Seminario

**Duración:** 2 horas

**Planificación:** Anual, al principio del curso, para alumnos de nuevo ingreso

**Justificación:** presentar a los alumnos que empiezan el doctorado a los aspectos esenciales de la investigación, metodologías, formas de difusión de sus resultados, y todos aquellos aspectos considerados de interés para que puedan iniciar eficazmente la elaboración de su tesis

**Nombre seminario 2:** Escritura de informes científicos

**Tipo:** Seminario

**Duración:** 2 horas

**Planificación:** Anual, para alumnos que se encuentran en el primer año de doctorado

**Justificación:** Dotar a los alumnos de los conocimientos necesario sobre cómo escribir un documento científico, tanto para su presentación en congresos, como en revistas científicas.

**Nombre seminario 3:** Difusión de los resultados científicos

**Tipo:** Seminario

**Duración:** 2 horas

**Planificación:** Anual, para alumnos que se encuentran en el primer año de doctorado

**Justificación:** Dotar a los alumnos de los conocimientos necesario sobre difusión de los resultados: patentes, participación en congresos, publicación en revistas.

**Procedimientos de control:** La realización de cursos de formación complementaria será establecida cuando el alumno ingrese en el programa de doctorado. En función de su perfil se le podrá asignar la realización de determinadas actividades, la cuales podrán depender de los seminarios propios del programa de doctorado, o de asignaturas regladas que se impartan en la universidad. El alumno preparará resúmenes escritos que serán evaluados por su tutor. En los Planes de Investigación anuales realizados por cada alumno se detallará el progreso de dichas actividades y la Comisión Académica del Programa verificará su correcto desarrollo.

## **2. Formación en la preparación e impartición de trabajos en congresos y reuniones técnicas**

**Nº de horas:** 100. El número de horas es aproximado y correspondería a la preparación y asistencia al menos a un congreso con carácter obligatorio, incluyendo la preparación del trabajo a presentar y la asistencia al congreso.

**Competencias a las que contribuye:** CB33, CB15, CB16

**Descripción:** Los directores de tesis fomentarán la participación de los alumnos de doctorado en congresos nacionales y/o internacionales. Se considera que esta actividad es

fundamental para su formación como investigadores, ya que les permite conocer los avances que presenta la comunidad científica en su área de trabajo; y además, le ofrece la posibilidad de obtener una rápida realimentación sobre los trabajos que realiza; es decir, en el plazo de unos pocos meses se puede conocer lo que opinan otros expertos sobre los avances de los trabajos que se presentan en dicho evento. Además este tipo de eventos son adecuados para desarrollar las capacidades de diseminación y presentación de los trabajos de investigación, lo cual es de gran relevancia en la formación de los alumnos de doctorado. Tradicionalmente, los alumnos de nuestro programa participan en los diferentes eventos nacionales (por ejemplo: Reunión Anual de la Sociedad Nuclear Española; Congreso de la Sociedad Española de Protección Radiológica, ... ) durante los primeros años de su tesis; y durante el último año se fomenta que participen además en alguno de los eventos internacionales afines a su línea de investigación (por ejemplo ICENES, ICAPP, NENE, M&C, PHYSOR, reuniones de la European Nuclear Society, IRPA, IFSA, ICFRM, SOFE; SOFT, MRS, ISFNT, ...). La participación en reuniones científicas tiene un gran valor como actividad específica para avanzar en el conocimiento en el tema de investigación de la tesis, pero también como actividad transversal en la formación del alumno como investigador.

Normalmente las presentaciones en reuniones internacionales dan lugar a la publicación de artículos en revistas científicas con revisores, lo cual es especialmente formativo para los doctorandos.

En el capítulo de las reuniones técnicas, habitualmente enmarcadas en el seno de Proyectos de investigación nacionales o internacionales, se promoverá que los alumnos con más de un año de investigación participen directamente en las mismas presentando su avances y discutiendo con otros investigadores acerca de los mismos.

Esta actividad estaría indicada para el segundo y tercer años de realización de la Tesis Doctoral, con independencia de la dedicación (total o parcial) del alumno.

**Procedimientos de control:** El estudiante presentará a la Comisión Académica del Programa de Doctorado, dentro de su informe o Plan de investigación anual, un resumen de las asistencias que haya realizado a Congresos y reuniones técnicas. La evaluación de esta actividad es realizada por la CAPD, informada por el Director de la tesis, a partir de las comunicaciones y presentaciones defendidas en congresos o reuniones técnicas por el alumno.

### **3. Seminarios sobre temas avanzados en las líneas de investigación**

**Nº de horas:** 150 El número de horas incluye la asistencia a los seminarios así como la elaboración de informes-resumen de cada seminario

**Competencias a las que contribuye:** CB14, CB15, CB16

**Descripción:** El Programa promueve la realización de seminarios científicos para sus alumnos. Por ejemplo, en el curso 2011-12 dentro del Programa de Doctorado en Ciencia y Tecnología Nuclear se han llevado a cabo diferentes seminarios, con un total de 30 sesiones impartidas por 13 profesores diferentes, 9 de ellos extranjeros. En ellos se suelen presentar

temas avanzados de investigación en las sub-líneas del Programa, fomentando la interacción entre los jóvenes investigadores y los conferenciantes, durante las sesiones y después de ellas.

Esta es una actividad de carácter obligatorio.

El alumno a tiempo parcial podría acumular la realización de seminarios de forma más extendida en el tiempo, a juicio de su tutor.

**Procedimientos de control:** El estudiante presentará a la Comisión Académica del Programa de doctorado, dentro de su informe o Plan de investigación anual, un resumen de las asistencias que haya realizado a Seminarios Avanzados. Para tener en cuenta su asistencia y valorar el aprovechamiento realizado, se pide a los alumnos que realicen un resumen del mismo o breve trabajo o informe relacionado con la temática tratada para que la CAPD, informada por el profesor responsable de cada seminario, pueda valorar mejor el avance logrado.

#### **4. Formación para la transferencia de resultados de I+D+i en colaboración con empresas u organismos de investigación.**

**Nº de horas:** 200

Esta actividad es optativa, si bien se tratará de que todos los alumnos puedan realizarla. El número de horas indicado representa un mínimo para el caso de los alumnos a tiempo parcial o de aquellos cuya investigación, por su naturaleza, no se preste a una transferencia directa a otras entidades.

**Competencias a las que contribuye:** CB11, CB15, CB16, CA04

**Descripción:** Esta actividad está ligada a la transferencia de tecnología la cual es cada día de mayor interés. Una parte de los alumnos del programa de doctorado trabajan en proyectos de I+D financiados por empresas o entidades públicas; estos alumnos tendrán la posibilidad de realizar transferencia de sus resultados fácilmente. Los alumnos que no tengan esa relación directa deberán participar en actividades de intercambio en las que expongan sus resultados

Los profesores del programa son los encargados de organizar la realización de esta actividad. Intentarán que los resultados de investigación puedan ser transferidos a la industria o a los organismos interesados, e incluso el desarrollo de spin-off asociadas a los trabajos de las tesis doctorales.

Se prevé su desarrollo a partir del segundo año de estudios de doctorado.

**Procedimientos de control:** La eficacia de la actividad se cuantificará mediante la calidad de las presentaciones realizadas y los informes elaborados, siendo el director de la tesis el responsable de evaluarlo contando en la medida de lo posible con algún responsable de la entidad con la que se colabore.

## 5. Estancia en un centro de investigación extranjero de relevancia

**Nº de horas:** 450

Esta actividad es optativa, si bien se tratará de conseguir financiación para que todos los alumnos a tiempo completo puedan optar a ella. El número de horas correspondería a una estancia de tres meses.

**Competencias a las que contribuye:** CB01, CB02, CB03, CB05, CA04, CA05

**Descripción:** Se considera aconsejable que el alumno de doctorado realice una estancia en un centro relevante que sea afín a sus trabajos de investigación. El mayor interés de esta actividad radica en la posibilidad que tiene el alumno de contrastar sus resultados con prestigiosos investigadores que les permiten obtener una evaluación crítica y constructiva del trabajo en curso. Estas estancias suelen realizarse en aquellos centros con los que tiene relación el director de tesis. La participación en consorcios y redes europeas y los múltiples acuerdos de colaboración internacionales con los que se cuenta facilitan la realización de estas estancias. Los profesores del Programa de doctorado cuentan con una gran tradición en este tipo de actividades y por tanto se cuenta con numerosas oportunidades para los alumnos.

Esta es una actividad optativa, pero resulta obligatoria, con una duración mínima de 3 meses, para aquellos alumnos que soliciten la 'Mención Internacional'. Los alumnos a tiempo completo tienen mayores posibilidades para su realización, ya que pueden realizar las estancias durante 3 meses ininterrumpidos; mientras que para los alumnos a tiempo parcial se les apoyará para que realicen estas estancias en varios periodos, dependiendo de su disponibilidad.

Se prevé su desarrollo a partir del segundo año de estudios de doctorado.

Las estancias en centros extranjeros se programan una vez pasado el ecuador de la tesis, ya que en el caso de realizarse al principio el aprovechamiento podría ser menor.

**Procedimientos de control:** El control de las estancias se realizará a partir de informes resumidos de avance que el estudiante habrá de enviar mensualmente a la CAPD. Una vez finalizada la estancia, se evaluará el rendimiento de la misma por la calidad de sus resultados, en especial informes técnicos y artículos en revistas. Se requerirá también una evaluación escrita del responsable de la tutela del estudiante en el centro de acogida.

## 6. Formación de cara a la publicación y difusión de los resultados de investigación

**Nº de horas:** 250

El número de horas es aproximado.

**Competencias a las que contribuye:** CB13, CB15, CB16, CA06

**Descripción:** La publicación de artículos o comunicaciones a congresos es una actividad prioritaria y obligatoria para todos los alumnos con independencia de la dedicación que

tengan. En ella deben mostrar a la comunidad científica los resultados de sus trabajos de investigación.

La publicación en revistas indexadas de los resultados de investigación es uno de los indicadores de calidad previstos para la admisión a trámite de defensa de la tesis doctoral. Todos los profesores del programa cuentan con una amplia tradición de publicación en las revistas más prestigiosas de las respectivas áreas de investigación, lo cual facilita poder formar a los alumnos para la realización de esta actividad.

**Procedimientos de control:** Se estima que el mejor control en este caso es la propia publicación en revistas indexadas con revisores de al menos un artículo directamente relacionado con el trabajo de la Tesis doctoral. Una copia de cada artículo publicado debe ser entregada a la CAPD para que esta pueda valorar la adquisición de estas competencias.

#### 4.2. MOVILIDAD EN LAS ACTIVIDADES FORMATIVAS

La movilidad en las actividades formativas está asociada de forma intrínseca con las actividades 2 (formación en la preparación e impartición de trabajos en congresos y reuniones técnicas), 4 (formación para la transferencia de resultados de I+D+i en colaboración con empresas u organismos de investigación) y 5 (Estancia en un centro de investigación extranjero de relevancia) descritas anteriormente. De ellas la última es la esencial para poder optar además a la mención Internacional del Doctorado, y el Programa, a través de su red de Colaboraciones (descrita en el apartado 1.4) con otros centros de investigación y universidades, tanto nacionales como internacionales, estima posible asegurar que al menos un 50% de los alumnos que terminan la tesis hayan realizado una estancia de investigación de al menos tres meses en el seno de un grupo de investigación extranjero de reconocido prestigio, lo cual según se explica en el apartado 5 de la memoria sigue el Modelo de Doctorado de la UPM (artículo 9.2).

Por lo tanto, además de posibilitar que los doctorandos realicen estancias cortas asociadas a proyectos de investigación y a congresos técnicos, se procurarán los medios para estancias más largas que permitan la realización de actividades de investigación más complejas en colaboración.

En algunos casos puede conseguirse financiación para movilidad de los proyectos de investigación internacionales en los que participan los profesores del Programa, y se prevé la convocatoria de ayudas a tal fin entre los estudiantes del Programa cuyo perfil encaje mejor en las temáticas de los proyectos financiadores. Por otro lado, se solicitará financiación a la Universidad y administraciones nacionales y autónomas en el marco de convocatorias con este fin. Las becas para la realización del doctorado de estas entidades suelen facilitar la consecución de estas ayudas. En algunos casos, se puede contar con financiación del centro receptor, lo cual facilita significativamente esta actividad. Los profesores del Programa serán normalmente los encargados de gestionar este tipo de estancias.

## 5. ORGANIZACIÓN DEL PROGRAMA DE DOCTORADO

### 5.1 SUPERVISIÓN DE TESIS DOCTORALES

Para la supervisión de las tesis doctorales, el Programa de Doctorado en Energía Sostenible Nuclear y Renovable sigue todos los criterios establecidos en el Reglamento de Elaboración y Evaluación de la Tesis Doctoral de la UPM<sup>1</sup>.

Además, la UPM ha desarrollado un Sistema informático online de Ayuda al Doctorado (SAD) al que se accede de forma personalizada, que será utilizado en el Programa, el cual automatiza los procedimientos necesarios a implantar para el correcto seguimiento de lo establecido en el RD 99/2011.

#### **Relación de actividades previstas para fomentar la dirección de tesis doctorales**

Las actividades dirigidas a fomentar la dirección de Tesis Doctorales estarán orientadas a dos colectivos: a los potenciales doctorandos y a los potenciales directores de tesis

**a) Las orientadas a potenciales doctorandos.** Según lo descrito anteriormente en el punto 3, se fomentarán las actividades dirigidas a promocionar la realización de estudios de doctorado a través de la web, la difusión mediante correo electrónico, la inclusión de información sobre el Programa en ferias y salones del estudiante y su difusión en conferencias y seminarios dentro y fuera de España.

Se pondrá especial énfasis entre quienes se encuentren matriculados en el último curso del/los Grado/s en Ingeniería Industrial, especialidad Técnicas Energéticas, y Grado en Ingeniería de la Energía y, especialmente, entre aquellos estudiantes que se encuentren realizando el/los Máster/es que se imparten en la UPM. Dentro de la ETSII-UPM se prevé organizar jornadas informativas en las que se expliquen a los alumnos en qué consisten los estudios de Doctorado, cómo se realiza una tesis doctoral o cuál es el valor añadido que puede reportarles.

La actividad de promoción también podría ir dirigida a los diversos profesionales de campos afines al Programa, ajenos a la Universidad, que estén interesados en mejorar e incrementar su formación para aplicar dicha mejora a su actividad profesional. La vía para tal promoción será fundamentalmente la difusión por los demás canales en colaboración con diversas empresas y asociaciones del sector.

Finalmente, la actividad de promoción para la captación de estudiantes de doctorado debe proyectarse hacia el ámbito internacional, aprovechando los convenios firmados por los Grupos de Investigación que integran el presente programa con Universidades extranjeras y sirviéndose también de la movilidad de los profesores doctores que forman parte de esos mismos grupos.

**b) Las orientadas a los potenciales directores de tesis.** Todos los profesores que van a participar en el Programa de Doctorado presentan un elevado interés en la dirección de tesis

---

<sup>1</sup>Reglamento de elaboración y evaluación de la Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid (Aprobado por el Consejo de Gobierno en su sesión de 21 de diciembre de 2011). Disponible en el siguiente enlace: [http://www.upm.es/institucional/Estudiantes/Estudios\\_Titulaciones/Estudios\\_Doctorado/Tesis/ElaboracionTesis](http://www.upm.es/institucional/Estudiantes/Estudios_Titulaciones/Estudios_Doctorado/Tesis/ElaboracionTesis)

doctorales. En la actualidad la mayoría de los profesores que participan en el Programa han dirigido o están dirigiendo Tesis Doctorales.

Según se comentaba anteriormente, para fomentar la mayor implicación de todos los profesores se ha pensado organizar anualmente unas jornadas conjuntas entre los profesores que en ese momento no estén dirigiendo tesis, o las que estén dirigiendo se encuentren en el último año, y los nuevos alumnos que se hayan incorporado al Programa (especialmente aquellos que tienen asignado tutor, pero no director de tesis) con el fin de poner en común los intereses científicos y de investigación de ambas partes para favorecer las direcciones o codirecciones en su caso. Así mismo se incentivará a los profesores seniors que vayan a dirigir alguna tesis a considerar posibles codirecciones con los más jóvenes, siempre de forma coherente con el proceso de formación del doctorando y con la investigación que se lleve a cabo y bajo la aprobación de dicha codirección por la Comisión de Doctorado de la UPM, que tendrá en cuenta el informe emitido a tal efecto por la Comisión Académica del Programa de Doctorado.

Por otro lado hay que destacar que, en el caso de los profesores de la UPM la labor de dirección de tesis computa en la UPM, como trabajo de docencia (una vez leída) durante 2 horas por semana, 30 semanas al año, 3 años en total, es decir, que por cada tesis dirigida y finalizada al director se le computa 180 horas de docencia. Así mismo esta carga de docencia se reparte con el codirector, en el caso de que exista. Este cómputo ayuda al fomento de la dirección/codirección de tesis doctorales, ya que tanto la dirección de tesis doctorales como las horas de docencia que presenta cada profesor son datos que se ponderarán en las futuras organizaciones administrativas de la UPM.

### ***Modalidad y duración del doctorado***

De acuerdo con la normativa de la UPM (artículos 1 y 2 del Reglamento<sup>1</sup>) los estudios de doctorado dentro del Programa se realizarán preferentemente a tiempo completo, si bien, en casos justificados, a petición del centro responsable del programa de doctorado y previa autorización de la Comisión de Doctorado de la UPM, podrán realizarse estudios de doctorado a tiempo parcial y, en caso de ser concedida, la autorización entrará en vigor el semestre siguiente a su autorización. La duración máxima de los estudios de doctorado sigue lo especificado en el RD 99/2011, es decir, 3 años (y posibilidad de prórroga de hasta 2 años más) para tiempo completo, y cinco años (con posible prórroga de hasta 3 años) para tiempo parcial.

En su normativa (artículo 1 del Reglamento<sup>1</sup>), la UPM establece también una duración mínima de un año, tanto para tiempo completo como para tiempo parcial, a contar desde la admisión del doctorando al Programa hasta el depósito de la tesis doctoral, siempre que se cuente con resultados publicados en revistas de reconocido prestigio en su especialidad e incluidas en el catálogo *Journal Citation Reports* o equivalentes, o con la existencia de patentes en explotación demostrada mediante contrato de compraventa o contrato de licencia (artículo 19 del Reglamento<sup>1</sup>).

### ***Guía de buenas prácticas del programa de doctorado***

La UPM está actualmente redactando una Guía de buenas prácticas para sus programas de doctorado que será adoptada en este Programa y se hará pública tan pronto como se

apruebe. La Guía de buenas prácticas tiene como fin complementar e integrar las normas para la realización de la tesis doctoral en el Programa. Contendrá un conjunto de recomendaciones y compromisos dirigidos a favorecer la calidad de la investigación, a prevenir problemas de integridad científica, regular lo referente a posibles conflictos de intereses y, en suma, a la tutela de los derechos del doctorando y de los profesores que asumen la responsabilidad de dirigir la tesis doctoral.

Acorde a la normativa de la UPM (artículo 14 del Reglamento<sup>1</sup>), el Centro responsable del programa, es decir, la ETSII, establecerá las funciones de supervisión de los doctorandos mediante un compromiso documental firmado por dicho Centro, el doctorando, su tutor y su director. Este compromiso será rubricado a la mayor brevedad posible después de la admisión e incluirá un procedimiento de resolución de conflictos además de contemplar los aspectos relativos a los derechos de propiedad intelectual o industrial que puedan generarse en el ámbito del programa de doctorado. Así mismo se aplicarán los procedimientos de seguimiento de doctorandos basados en la normativa de la UPM y que se detallan en el punto 5.2 más adelante.

### ***Participación de expertos internacionales***

En el apartado 1.4 de esta memoria se han detallado los convenios de colaboración que los Departamentos y Grupos de investigación integrantes del presente Programa tienen firmados con otros Grupos e Instituciones de Investigación extranjeras. Dichos convenios servirán como instrumento para canalizar la participación de profesores doctores de otros países en la dirección y evaluación de las tesis. Además se potenciará la participación de profesores doctores extranjeros a través de las asociaciones de universidades a las que la UPM y la ETSII pertenecen, como T.I.M.E. (Top Industrial Managers Europe, <https://www.time-association.org/home>), ENEN (European Nuclear Education <http://www.enen-assoc.org/>, Plasma Physics Application (PLAPA) u otras que contemplan acuerdos específicos para el intercambio de docentes y alumnos en el ámbito del doctorado.

El co-director de tesis extranjero deberá ser un investigador que cumpla tanto los criterios generales del Modelo de Doctorado de la UPM, como los criterios específicos del Programa. Esta colaboración con doctores extranjeros en las tareas de codirección de tesis permitirá potenciar la dimensión internacional del Programa.

El Programa de Doctorado, llevará a cabo todas las gestiones necesarias para impulsar e incentivar la obtención de la Mención Internacional para las tesis que se lean en el Programa, promoviendo la participación de expertos internacionales en el proceso de revisión del plan de investigación y resultados alcanzados por los doctorandos, en la elaboración de informes previos a la lectura y defensa de la tesis, así como para formar parte de los tribunales que hayan de juzgar las Tesis, pues, de acuerdo con lo prescrito en el art. 15 RD 99/2011, la mención internacional en el título de Doctor requiere que la tesis haya sido informada por un mínimo de dos expertos doctores pertenecientes a alguna institución de educación superior o instituto de investigación no española y que haya formado parte del tribunal evaluador de la tesis al menos un experto doctor perteneciente a alguna institución de educación superior o centro de investigación no español.

## **5.2 SEGUIMIENTO DEL DOCTORANDO**

Los requisitos generales de seguimiento de doctorandos se encuentran en la normativa de la UPM<sup>1</sup>.

### **Comisión Académica del Programa de Doctorado (CAPD)**

El Programa de Doctorado tendrá una Comisión Académica compuesta por diez miembros, como sigue:

- El Coordinador del Programa, que presidirá la CAPD.
- El Secretario del Programa, que será un profesor de la UPM con dedicación a tiempo completo.
- Tres profesores de la línea de investigación en “Ciencia y Tecnología Nuclear”, que sean avalistas de la propuesta de Programa o que al menos tengan dos sexenios de investigación (uno de ellos activo) y hayan dirigido una tesis en los últimos cinco años.
- Tres profesores de la línea de investigación en “Energías Renovables, Combustibles y Medio Ambiente”, que sean avalistas de la propuesta de Programa o que al menos tengan dos sexenios de investigación (uno de ellos activo) y hayan dirigido una tesis en los últimos cinco años.
- Dos profesores o investigadores de organismos externos con los que se mantienen convenios de colaboración, que estén dirigiendo alguna tesis doctoral en colaboración con el Programa o que la hayan dirigido en los últimos cinco años.

Los miembros de la CAPD se elegirán mediante votación entre todos los profesores de la UPM participantes en el Programa. La composición de la CAPD habrá de someterse a nueva votación cada periodo de cuatro años, pudiendo sus miembros ser reelegidos.

### **Procedimiento para la asignación de Tutor y Director**

El Reglamento sobre Tesis Doctoral de la UPM<sup>1</sup> establece que los doctorandos admitidos en un programa de doctorado se matricularán anualmente por el concepto de tutela académica del doctorado (artículo 5). En el momento de su admisión al programa de doctorado, a cada doctorando le será asignado por la CAPD un tutor, doctor y con acreditada experiencia investigadora (artículo 6). Al tutor le corresponderá: a) velar por la interacción del doctorando con la CAPD y con el director de la tesis y b) orientar al doctorando en las actividades formativas y de investigación del Programa. La Comisión de Doctorado de la UPM, a petición del centro responsable del programa de doctorado, podrá modificar el nombramiento del tutor de un doctorando en cualquier momento del periodo de realización del doctorado, siempre que concurran razones justificadas (artículo 7).

En el plazo máximo de seis meses desde su matriculación, la CAPD asignará a cada doctorando un director de tesis doctoral que podrá ser coincidente o no con el tutor (artículo 8). Dicha asignación podrá recaer sobre cualquier doctor español o extranjero, con experiencia acreditada investigadora, con independencia de la universidad, centro o institución en que preste sus servicios, siempre y cuando cumpla los criterios del programa de doctorado y del Modelo de Doctorado de la UPM. Dicho director pasará a formar parte del profesorado del Programa a todos sus efectos.

### **Codirección de la tesis doctoral.**

Según el artículo 9 del Reglamento de la UPM<sup>1</sup>, la tesis podrá ser codirigida por otro doctor, con una experiencia investigadora acreditada similar a la figura de director, anteriormente descrita. La posibilidad de codirección se contemplará siempre y cuando concurren razones de índole académica, como puede ser el caso de la interdisciplinariedad temática o los programas desarrollados en colaboración nacional o internacional.

La CAPD, oído el doctorando y el director de tesis, podrá solicitar al Centro responsable del Programa, la codirección de la tesis, siempre que concurren razones justificadas. El Centro, previa presentación de un informe a la Comisión de Doctorado de la UPM, será el encargado de solicitar dicha codirección. Además, la Comisión de Doctorado de la UPM podrá solicitar los informes adicionales que considere oportunos, y responderá a dicha solicitud en un plazo máximo de 2 meses.

Dicha autorización podrá ser revocada con posterioridad si a juicio de la Comisión de Doctorado de la UPM la codirección no beneficia el desarrollo de la tesis.

### **Cambio de director**

La CAPD, a propuesta de alguna de las partes (director, doctorando o CAPD) y oído el doctorando, podrá proponer una modificación del nombramiento de director de tesis doctoral en cualquier momento del periodo de realización del doctorado, siempre que concurren razones justificadas.

### **Documento de Actividades. Plan de Investigación. Evaluación**

Una vez matriculado en el programa, se materializará para cada doctorando un Documento de Actividades personalizado a efectos del registro individualizado de control. En él se inscribirán todas las actividades de interés para el desarrollo del doctorando según regula el Modelo de Doctorado de la UPM (artículo 11 del Reglamento<sup>1</sup>).

Antes de la finalización del primer año, el doctorando elaborará un Plan de Investigación que incluirá, al menos, la metodología a utilizar y los objetivos a alcanzar, así como los medios y la planificación temporal para lograrlo. El Plan de Investigación se podrá mejorar y detallar a lo largo de su estancia en el programa (artículo 12).

Anualmente, la CAPD evaluará el Plan de Investigación y el Documento de Actividades de cada doctorando, junto con los informes que a tal efecto deberán emitir el tutor y el director. La evaluación positiva será requisito indispensable para continuar en el programa. En caso de evaluación negativa, que será debidamente motivada, el doctorando deberá ser de nuevo evaluado en el plazo de seis meses, a cuyo efecto elaborará un nuevo Plan de Investigación. En el supuesto de producirse nueva evaluación negativa, el doctorando causará baja definitiva en el programa (artículo 13).

### **Previsión de estancias en otros centros**

La relación de los estudiantes de doctorado con miembros de otros grupos de investigación es una experiencia muy enriquecedora para su periodo de formación. Permite conocer otras formas de trabajar y puntos de vista alternativos sobre cuestiones técnicas. Los Grupos de investigación que participan en este Programa de doctorado tienen un amplio historial de participación en proyectos europeos, redes de excelencia, asociaciones y congresos técnicos. Estas actividades han permitido establecer relaciones con grupos de investigación

muy prominentes, especialmente, en el ámbito europeo, iberoamericano y estadounidense, según se detalló en el apartado 1.4 de esta memoria. Gracias a las relaciones existentes, en los últimos 5 años, se han realizado 6 tesis doctorales con estancias en el extranjero de las cuales 4 han obtenido la Mención Europea y 2 la mención de Doctorado Internacional.

El Programa de doctorando seguirá promoviendo la internacionalización de las tesis doctorales realizadas en el programa, tratando de incrementar aún más las estancias de los doctorandos en centros extranjeros y el número de tesis realizadas que obtengan la mención Internacional. Para ello, además de la financiación de que pueda disponer gracias a los proyectos de investigación, se compromete a concurrir a las convocatorias públicas de movilidad.

Los directores de tesis y la Comisión fomentarán este tipo de estancias cuando sirvan al estudiante para avanzar en su trabajo de investigación y completar su formación. La financiación se solicitará a la Universidad y administraciones nacionales y autónomas en el marco de convocatorias con este fin. Las becas para la realización del doctorado de estas entidades suelen facilitar la consecución de estas ayudas. Los profesores del Programa serán normalmente los encargados de gestionar este tipo de estancias.

La CAPD complementará esta labor gestionando globalmente los contactos y actividades de los distintos participantes en el programa para conseguir una óptima selección del centro de investigación para alumnos propios y el mejor grupo de investigación, para alumnos externos. Asimismo, coordinará la estancia de éstos para que puedan colaborar con diferentes profesores y mejorar su formación en el periodo de acogida.

Para ello, el Programa de Doctorado cuenta con una amplia red de colaboraciones ya existentes con otros centros de investigación y universidades, tanto nacionales como internacionales, derivadas de su alta participación en programas europeos. En conjunto, a través de los mecanismos descritos, se estima posible asegurar que al menos un 50% de los alumnos que terminan la tesis hayan realizado una estancia de investigación de al menos tres meses en el seno de un grupo de investigación extranjero de reconocido prestigio, de acuerdo con el Modelo de Doctorado de la UPM<sup>2</sup> (artículo 9.2).

### **5.3 NORMATIVA DE LECTURA DE TESIS**

Los requisitos generales para la presentación y lectura de la tesis doctoral son los que establece el Reglamento de la UPM<sup>1</sup>, a los que se han añadido algunos requisitos propios de este Programa.

#### **Lengua de redacción y defensa de la tesis doctoral**

Las tesis estarán redactadas y defendidas preferentemente en español. También podrán redactarse o defenderse en inglés, si bien la Comisión de Doctorado de la UPM puede autorizar, a petición del doctorando, y con la conformidad del centro responsable del programa de doctorado, la redacción y presentación en un idioma diferente si ello está debidamente justificado y razonado. En el supuesto de que la tesis doctoral esté redactada en un idioma diferente de los anteriores, hay que presentar un resumen adicional en español y en inglés (artículo 20).

## **Predefensa o trámite equivalente**

Concluido el trabajo y redactada la versión provisional de la tesis, y con evaluación positiva del último Plan de Investigación presentado, el doctorando lo comunicará a la CAPD, adjuntando un informe del director o directores de la tesis doctoral (artículo 15). El solicitante deberá aportar también todas las publicaciones relacionadas con el tema de la tesis.

Para que una tesis doctoral pueda ser admitida a trámite de defensa deberá contar con resultados publicados en revistas de reconocido prestigio en su especialidad e incluidas en el catálogo *Journal Citation Reports* o equivalentes, o con la existencia de patentes (artículo 19).

La CAPD analizará las publicaciones presentadas para ver si la tesis alcanza el nivel de calidad suficiente. Para ello será necesario que el doctorando tenga publicados en los últimos tres años, al menos dos artículos en revistas con índice de impacto, o bien un artículo y al menos dos ponencias presentadas y publicadas en congresos internacionales de prestigio, todos ellos sobre algún tema relacionado con la tesis. Si se cumplen los requisitos previstos en el mecanismo de indicios de calidad, la CAPD emitirá el correspondiente informe positivo.

El centro responsable del programa de doctorado deberá certificar que se cumple dicho avance de resultados antes del depósito de la tesis doctoral, informando de forma conveniente a la Comisión de Doctorado de la UPM. La Comisión de Doctorado de la UPM podrá aprobar una normativa que regule la presentación de la tesis doctoral por compendio de artículos.

En el caso de que la tesis no cumpla los requisitos descritos para lograr el nivel de calidad suficiente, en un plazo máximo de 30 días a partir de la presentación del informe del director o directores de la tesis, el doctorando realizará una predefensa ante una comisión de expertos, con experiencia investigadora acreditada, elegida por la CAPD, con la presencia de su director o directores. La comisión de expertos encargada de juzgar la predefensa o el comité encargado de evaluar la versión provisional de la tesis, emitirá un informe a tal efecto (artículo 17). En caso de informe negativo, debidamente razonado y justificado, el doctorando deberá modificar o rehacer el trabajo y volver a realizar la predefensa o el trámite equivalente. Si el informe contiene sugerencias de mejora, la CAPD decidirá si su incorporación al documento final es obligada o queda al criterio del doctorando y del director o directores de la tesis. No será necesario recabar más opiniones de expertos, si en la comisión de expertos figuran, al menos, dos que sean externos al Programa. En otro caso, el director de la tesis deberá solicitar informes favorables de dos doctores expertos externos para complementar el informe de prelectura.

La CAPD solo podrá autorizar la tramitación de la tesis doctoral cuando el informe de predefensa sea positivo y los cambios obligados hayan sido introducidos y verificados por dicha comisión, o bien cuando la tesis haya sido tramitada por el mecanismo de indicios de calidad. La decisión de la autorización o no a trámite de la defensa de la tesis doctoral y la justificación correspondiente, si procede, deben ser comunicadas al director o directores de la tesis doctoral y al doctorando en un plazo máximo de 14 días a partir del momento en el que se recibe dicho informe (artículo 18).

## **Depósito y admisión a trámite de la defensa de la tesis doctoral**

Las tesis doctorales quedarán en depósito durante 15 días, a partir del día siguiente a la aceptación de su depósito. El centro responsable del programa de doctorado tiene que comunicar el depósito de la tesis a los miembros del PDI del programa de doctorado, y poner a su disposición una copia del ejemplar provisional de la tesis doctoral remitido a la Comisión de Doctorado de la UPM.

Por su parte, la Comisión de Doctorado de la UPM, a través de la página Web de la UPM, divulgará las tesis que están en depósito en cada momento. El Vicerrectorado responsable de los estudios de doctorado facilitará el procedimiento que se debe seguir para que cualquier doctor, debidamente acreditado, pueda examinar en su totalidad las tesis depositadas y, si procede, pueda enviar por escrito, en formato libre, a la CAPD las observaciones que considere oportunas, hasta el último día de depósito. En caso de formularse observaciones el centro responsable del programa de doctorado, en vista de su contenido, manifestará por escrito a la Comisión de Doctorado de la UPM su opinión sobre la necesidad de continuar o paralizar el proceso. Para hacerlo, disponen de un plazo de 7 días desde la finalización del período de depósito (artículo 26).

Una vez transcurrido el plazo de depósito sin que se presenten observaciones, o una vez resueltas las que hayan sido planteadas, la Comisión de Doctorado de la UPM tiene que decidir si autoriza la defensa de la tesis o no. La decisión tomada se tiene que comunicar al centro responsable del programa de doctorado que, a su vez, se la comunicará a la CAPD y al doctorando y al director o directores de la tesis en el plazo máximo de cinco días. Si no se autoriza la defensa, se deberán especificar los motivos y las razones de tal decisión. La decisión de la Comisión de Doctorado de la UPM se considerará firme y definitiva y agota la vía administrativa (artículo 27).

### **Tribunal**

Para el nombramiento del Tribunal se seguirá la normativa de la UPM, plasmada en el Reglamento para la elaboración y evaluación de la Tesis doctoral ([http://www.upm.es/institucional/FuturosEstudiantes/Estudios\\_Titulaciones/EstudiosOficialesDoctorado/Tesis/ElaboracionTesis](http://www.upm.es/institucional/FuturosEstudiantes/Estudios_Titulaciones/EstudiosOficialesDoctorado/Tesis/ElaboracionTesis)), artículo 28.

El tribunal estará compuesto por cinco miembros titulares y dos suplentes. De conformidad con lo dispuesto en el artículo 14 del RD 99/2011, en todo caso, el tribunal estará formado por una mayoría de miembros externos a la Universidad y a las instituciones colaboradoras en el Programa. Según la normativa de la UPM no pueden formar parte de los tribunales de tesis más de dos miembros de la misma universidad u organismo. Un miembro no podrá formar parte del tribunal si cumple cualquiera de los criterios de abstención establecidos en el artículo 28 de la Ley 30/1992 de 26 de noviembre.

La Comisión de Doctorado de la UPM, siguiendo la normativa establecida, designará entre los miembros del tribunal a un presidente y a un secretario.

### **Acto de defensa.**

El acto de defensa de la tesis (artículo 29) será convocado por el presidente y comunicado por el secretario a los miembros del tribunal con suficiente antelación.

Una vez convocado el acto, el presidente del tribunal establecerá las medidas de suplencia adecuadas. Si en el día fijado para el acto de defensa y exposición pública de la tesis no se presentara alguno de los miembros, se incorporará a los suplentes. Si esto no es posible, el presidente decidirá si continuar o no con el acto de defensa, una vez consultados el resto de miembros y el presidente de la CAPD. Para continuar con la defensa, será necesario que estén presentes un mínimo de cuatro miembros, y que se cumpla el requisito sobre el máximo número de miembros del tribunal de la misma Universidad. En caso de que se decidiese suspender el acto, se fijará otro día para realizar la defensa de acuerdo con el resto de los miembros del tribunal y el doctorando. Los cambios en el tribunal se deberán comunicar a la Comisión de Doctorado de la UPM en el plazo más breve posible.

En caso de que uno de los miembros no pudiera estar presente por motivos de fuerza mayor pero sí pueda acceder por medios a distancia (audio o videoconferencia), es potestad del presidente de la comisión, de acuerdo con la legislación vigente, el permitir la asistencia del miembro remoto, en igualdad de condiciones con los presentes, participando en el acto de defensa y en las deliberaciones posteriores.

La tesis doctoral se evaluará en el acto de defensa que tendrá lugar en sesión pública y consistirá en la exposición y defensa por el doctorando del trabajo de investigación elaborado ante los miembros del tribunal.

El tribunal que evalúe la tesis dispondrá del documento de actividades del doctorando con las actividades formativas llevadas a cabo por el mismo. Este documento de seguimiento no dará lugar a una puntuación cuantitativa, pero sí constituirá un instrumento de evaluación cualitativa que complementará la evaluación de la tesis doctoral.

Los miembros del tribunal deberán expresar su opinión y formularán al doctorando cuantas cuestiones estimen oportunas. Los doctores presentes en el acto público podrán formular cuestiones en el momento y forma que señale el presidente del tribunal.

### **Evaluación de la tesis**

Finalizada la defensa y discusión de la tesis doctoral, cada miembro del tribunal formulará por escrito una valoración sobre la misma. El tribunal emitirá un informe y la calificación global concedida a la tesis en términos de “apto” o “no apto”.

Cada miembro del tribunal emitirá un voto secreto proponiendo la obtención de la mención «cum laude». Estos votos serán introducidos en un sobre, que quedará cerrado y firmado en la solapa por todos miembros del tribunal. En una nueva sesión la CAPD procederá a la apertura del sobre con los votos secretos. Se podrá proponer que la tesis obtenga la mención «cum laude» en caso de voto positivo por unanimidad (artículo 30).

### **Mención internacional en el título de doctor**

El título de Doctor o Doctora podrá incluir en su anverso la mención “Doctor Internacional”, siempre que concurren las siguientes circunstancias (artículo 33):

- a) Que, durante el periodo de formación necesario para la obtención del título de doctor, el doctorando haya realizado una estancia mínima de tres meses fuera de España en una institución de enseñanza superior o centro de investigación de prestigio, cursando estudios o realizando trabajos de investigación. La estancia y las

actividades han de ser avaladas por el director y autorizadas por la CAPD, y se incorporarán al documento de actividades del doctorando.

- b) Que parte de la tesis doctoral, al menos el resumen y las conclusiones, se haya redactado y sea presentado en una de las lenguas habituales para la comunicación científica en su campo de conocimiento, distinta a cualquiera de las lenguas oficiales en España. Esta norma no será de aplicación cuando las estancias, informes y expertos procedan de un país de habla hispana.
- c) Que la tesis haya sido informada por un mínimo de dos expertos doctores pertenecientes a alguna institución de educación superior o instituto de investigación no española.
- d) Que al menos un experto perteneciente a alguna institución de educación superior o centro de investigación no española, con el título de doctor, y distinto del responsable de la estancia mencionada en el apartado a), haya formado parte del tribunal evaluador de la tesis.

La defensa de la tesis ha de ser efectuada en la Universidad Politécnica de Madrid.

### **Premios extraordinarios de doctorado**

Los premios serán concedidos entre quienes habiendo leído su tesis en el curso académico anterior, hayan obtenido la mención «cum laude» y soliciten la citada distinción. Las solicitudes, dirigidas al Director o Decano del centro responsable, serán presentadas en el registro general de la UPM en el plazo establecido por la Comisión de Doctorado de la UPM. Las propuestas motivadas de concesión de premios serán formuladas por los centros responsables, previa solicitud de informe a las comisiones académicas de los programas de doctorado cursados por los aspirantes a los citados premios. Dichas propuestas, conjuntamente con las solicitudes de los interesados, serán elevadas a la Comisión de Doctorado de la UPM antes de la fecha que establezca dicha Comisión. La Comisión de Doctorado de la UPM otorgará los premios extraordinarios de doctorado, que serán todos de igual nivel.

### **Publicación en el archivo digital UPM**

La publicación en el ARCHIVO DIGITAL UPM (URL: <http://oa.upm.es/>), repositorio abierto de la UPM, de las tesis doctorales sometidas a cláusulas de confidencialidad se llevará a cabo, si procede, cuando haya culminado el proceso de protección o transferencia de conocimiento, circunstancia que el doctorando comunicará debidamente a la UPM.

## **6. RECURSOS HUMANOS**

### **6.1 LÍNEAS Y EQUIPOS DE INVESTIGACIÓN**

En el Programa de Doctorado en Energía Sostenible Nuclear y Renovable se mantendrán dos líneas de investigación, basadas en la gran experiencia acumulada por los Grupos de Investigación de los dos departamentos que participan en él. Dichas líneas son:

- Ciencia y Tecnología Nuclear
- Energía renovable, combustibles y medio ambiente

Para cada línea se hace seguidamente una descripción y justificación de su interés, para en un apartado posterior detallar los profesores avalistas de las mismas, la composición de cada equipo de investigación participante en las líneas, las 25 publicaciones más destacadas del conjunto, así como las Tesis doctorales dirigidas y sus publicaciones.

### Línea de Investigación 1: CIENCIA Y TECNOLOGÍA NUCLEAR

La línea de investigación en “Ciencia y Tecnología Nuclear” proviene del Programa Oficial de Doctorado en “Ciencia y Tecnología Nuclear”, que obtuvo la Mencióh hacia la Excelencia de 2011-2012 a 2013-2014 (referencia: MEE2011-0065) y que a su vez procedía de la transformación del anterior Programa de Doctorado en “Ciencia y Tecnología Nuclear” que obtuvo la Mencióh de Calidad en el curso 2003-2004 (MCD 2003-00293) y la fue renovando de forma ininterrumpida.

Los doctorandos que han seguido este Programa de Doctorado a lo largo de más de una década, han obtenido normalmente financiación para la realización de su trabajo de Tesis Doctoral, bien a través de las Convocatorias Públicas del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte (becas FPI, FPU), de la CICYT, de la Universidad, y de proyectos europeos (del Programa Marco de investigación de EURATOM). También mediante contratos con centros de investigación nacionales (CIEMAT) o extranjeros (LLNL, Limeil, Max Planck), con el Consejo de Seguridad (CSN), o con empresas (ENRESA, ENDESA, UNESA, Centrales Nucleares), o a través de las Cátedras del Departamento financiadas por otros organismos o empresas. Este hecho 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.

Esta línea de investigación es de una significada relevancia científica e investigadora, baste constatar que en los Programas Marco europeos dispone de un Programa propio: el de Euratom (URL: [http://cordis.europa.eu/fp7/euratom/home\\_en.html](http://cordis.europa.eu/fp7/euratom/home_en.html)), teniendo además la relevancia académica especializada necesaria para formar nuevos investigadores. Por otra parte, su relevancia profesional está asociada al trabajo en instalaciones nucleares avanzadas, como los reactores de fusión nuclear en construcción: ITER (confinamiento magnético) o NIF (confinamiento inercial), los programas de reactores avanzados de fisión nuclear de la Generación IV, los sistemas de transmutación nuclear y ADS, los aceleradores de partículas, entre otros.

En nuestra sociedad industrial son muy abundantes las aplicaciones de los aparatos generadores de radiaciones y de las sustancias radiactivas en la industria, la medicina o la investigación. Su utilización rara vez ofrece controversia, dado lo inmediato de los beneficios obtenidos, y la formación de expertos capaces de diseñar y manejar las instalaciones adecuadas, para hacerlo en condiciones seguras, responde claramente a una necesidad social. Igualess comentarios cabría hacer con respecto a las fuentes de energía renovables, e incluso la energía de fusión recibe un claro respaldo social, demostrado por el apoyo de las instituciones a los programas de investigación en ella, que reciben importantes recursos.

Sin embargo, con relación a las instalaciones nucleares de fisión, el panorama social es, cuando menos, diferente. Los últimos años reflejan situaciones muy diversas en relación con

el desarrollo de la industria nuclear, no tanto por problemas internos como por las circunstancias que lo han condicionado, tales como accidentes nucleares (TMI-2, Chernóbil, y más recientemente Fukushima) de tremendo impacto social; la oposición antinuclear de diversa índole; o las crisis económicas y energéticas, con periodos de descenso en la tasa de crecimiento del consumo de energía eléctrica.

Hasta el accidente de Fukushima en marzo de 2011, varios factores se habían combinado para hacer revivir las perspectivas de la energía nuclear, con un sucesivo incremento del número de proyectos nucleares año tras año hasta 2010. Entre esos factores se encontraban el incremento de demanda en electricidad en el mundo, y particularmente en los países en vías de desarrollo; la conciencia de la importancia de la garantía del suministro; la necesidad de limitar las emisiones de carbono debido a la preocupación por el calentamiento global; y, por último, el fuerte incremento de los precios del petróleo, que hace aumentar la competitividad económica de la energía nuclear.

Sin embargo, en 2011, las reacciones al accidente de Fukushima supusieron una cierto frenazo en la construcción de nuevos reactores y un cambio de la tendencia. Algunos países decidieron adelantar la parada permanente de los reactores más veteranos, destacando la decisión de Alemania, que actualmente mantiene solo 9 reactores operativos y 27 en parada permanente (Fuente: IAEA-PRIS, 15-08-2012). No obstante, salvo excepciones como la de Alemania, la tendencia mayoritaria en el mundo ha sido la de mantener la operación de las centrales nucleares y revisar a fondo las condiciones de seguridad de los reactores operativos, estudiando en particular sus condiciones y medios técnicos necesarios para poder hacer frente a sucesos extremos de origen natural (sismos, inundaciones condiciones meteorológicas extremas, etc.); a pérdidas de funciones de seguridad como la falta de suministro eléctrico de muy larga duración, o la pérdida del sumidero final de calor; y a los accidentes severos con daño importante en el núcleo del reactor y sus efectos subsiguientes. Este tipo de análisis en la Unión Europea se han denominado “pruebas de resistencia” o “*stress tests*”. Sus resultados conducirán a un claro refuerzo de la seguridad, lógicamente a cambio de inversiones significativas y de mayor investigación en los aspectos que lo precisen.

Existen actualmente en el mundo 437 reactores en operación, que producen aproximadamente el 14% de la electricidad mundial. Buena parte de los países tienen como objetivo la operación y mantenimiento del parque actual, si bien la edad media es ya bastante elevada. Otros 64 reactores están en construcción, destacando los 26 de China, los 11 de Rusia y los 7 de la India. En Asia también se construyen nuevos reactores en Corea (4), Japón (2), Taiwán (2) y Pakistán (2); en América en EE.UU. (1), Argentina (1) y Brasil (1); y en Europa en Eslovaquia (2), Ucrania (2), Finlandia (1) y Francia (1). A estos reactores en operación y construcción se sumarán los reactores planificados, que ascendían a 114 el 31 de diciembre de 2011, destacando los 42 de China, los 35 de Rusia y los 20 de EE.UU. en proceso de autorización.

En España se cuenta con un total de 10 instalaciones nucleares ubicadas dentro del territorio peninsular, entre las que se encuentran seis centrales -Almaraz I y II, Ascó I y II, Cofrentes, Santa María de Garoña, Trillo I y Vandellós II- con un total de ocho reactores nucleares. En 2011 los ocho reactores nucleares españoles en operación produjeron casi una quinta parte de la electricidad, concretamente el 19,64%, lo que representó el 40,05%

de la electricidad libre de emisiones generada en España. Ha sido la fuente que más electricidad ha generada en 2011 y la que más horas ha operado.

La central nuclear de José Cabrera cesó su actividad el 30 de abril de 2006 y en la actualidad está en pleno proceso de desmantelamiento. Por su parte, la central de Vandellós I cesó su actividad en 1989 y tras completar las primeras fases del desmantelamiento, desde 2004 se encuentra en fase de latencia (periodo de espera de 25 años hasta que se realice el desmantelamiento completo). España posee, además, una fábrica de combustible nuclear en Salamanca -Juzbado- y un centro de almacenamiento de residuos radiactivos de baja y media actividad en Córdoba –El Cabril-. A finales de 2011, tras un largo proceso de presentación de candidaturas, análisis y decisión final, el Gobierno aprobó la instalación del Almacén Temporal Centralizado (ATC) para el combustible nuclear gastado de las centrales nucleares y los residuos radiactivos de alta actividad, junto con su centro tecnológico asociado en Cuenca -Villar de Cañas-.

Por su parte, en la Unión Europea **“la energía nuclear permanecerá en la cesta energética como opción baja en carbón a gran escala, (...)”** (*EU Energy roadmap 2050*).

## **Sub-líneas de Investigación**

### ***Ciencia y tecnología de Sistemas avanzados de fisión nuclear***

La energía nuclear de fisión cuenta con suficientes reservas de uranio como para garantizar la producción del combustible nuclear durante décadas. No obstante, en línea con el concepto de sostenibilidad, la tecnología de los reactores estudiados para la llamada Generación IV persigue lograr un mayor aprovechamiento de los recursos, y que además los diseños ofrezcan mejoras importantes en cuanto a la seguridad, resulten más eficientes económicamente, presenten una baja susceptibilidad a la proliferación armamentística y minimicen los residuos radiactivos generados. Las perspectivas para estos reactores se extienden a partir de mediados del presente siglo en adelante.

Por consiguiente en el campo de la energía nuclear de fisión, las perspectivas de cara al futuro hacen necesario mantener la capacidad tecnológica y la situación del país en el sector nuclear, centrada ahora fundamentalmente en:

- (1) la explotación de las centrales en funcionamiento y la extensión de su vida útil en condiciones seguras;
- (2) el desmantelamiento paulatino de las centrales que vayan agotando sus licencias de operación;
- (3) las actividades del ciclo del combustible, cada vez más reducidas en su primeras etapas, pero que se incrementarán en el futuro inmediato con respecto al almacenamiento intermedio de combustible usado y residuos de alta actividad (proyecto del ATC) y el desarrollo de tecnología asociados;
- (4) la investigación sobre nuevos diseños de reactores (siempre en colaboración con otros países) que pudieran dar continuidad al programa nuclear en el futuro; y
- (5) la investigación y desarrollo de tecnología para la gestión final del combustible irradiado en condiciones seguras, incluyendo las posibilidades de la transmutación nuclear de los productos de vida más larga.

En este campo se mueven las actividades del **Grupo de Investigación en “Ciencia y tecnología de Sistemas avanzados de fisión nuclear”** del Departamento de Ingeniería Nuclear, cuyas áreas de trabajo principales son:

- Simulador neutrónico-termohidráulico del núcleo de reactores de agua a presión
- Desarrollo de métodos de diseño y recargas de combustible en reactores nucleares.
- Análisis termohidráulico de la refrigeración de reactores de agua ligera.
- Comportamiento del combustible de alto quemado.
- Análisis dinámico de reactores nucleares.
- Separación y transmutación de transuránicos y productos de fisión en los residuos radiactivos de alta actividad.
- Tecnologías avanzadas en reactores de fisión.
- Reactores avanzados para generación de energía y transmutación.
- Sistemas subcríticos guiados por acelerador.
- Evaluación de la seguridad nuclear.
- Análisis de accidentes severos.
- Análisis de seguridad del almacenamiento de residuos.
- Impacto ambiental, radiológico y económico de los escapes radiactivos.
- Dosimetría neutrónica.
- Fiabilidad y análisis probabilista del riesgo.
- Política y economía energética.

### ***Fusión Nuclear***

Con respecto a la Fusión Nuclear como fuente masiva de Energía, actualmente la Investigación y Desarrollo de su tecnología es el de un área de conocimiento que precisa aún de elementos básicos para su implantación efectiva. Sin embargo, las líneas fundamentales en las que estará asentada esa tecnología están establecidas. Nos encontramos frente a dos opciones para la realización comercial de la fusión termonuclear: **magnética e inercial**, cada una de las cuales dicta su propia tecnología, aún reconociendo en su desarrollo diversos componentes comunes.

Las instalaciones más relevantes en construcción o ya construidas son en la actualidad, las siguientes:

- ITER (en construcción en Cadarache, Francia) (**confinamiento magnético**) y el Programa de Acompañamiento (financiado en estos momentos solo por la Unión Europea y Japón, en el llamado “*Broader Approach*”) que permita llegar a los sistemas DEMO y Comerciales, y
- NIF (EE.UU.) (construido y en funcionamiento en Lawrence Livermore National Laboratory), y LMJ (Francia), (en construcción en la proximidad de Burdeos / Francia) (**confinamiento inercial**).

En el caso del ITER, que será una instalación experimental no conectada a la red, se estudiará parcialmente la tecnología necesaria para un aparato comercial, lo cual está en cierta medida en su plan de experimentación; sin embargo, en las Instalaciones NIF y LMJ solamente se contempla la demostración científica de la ganancia energética, y la

posibilidad de la comprobación de parte de la física fundamental que justificaría la elección de algunos de los componentes tecnológicos previstos para una futura Planta de Potencia. El trabajo en DEMO (PPCS) en Fusión Magnética y las iniciativas como HiPER (Europa), LIFE (EE.UU.) y LIF\_T (Japón) en Fusión Inercial plantean la marcha hacia un sistema de ingeniería que sirva para una Planta de Potencia Comercial que han de ser los progresos en el futuro posterior.

En cualquier caso, es imprescindible que otros experimentos a menor escala demuestren los principios físicos de otros (muchos) componentes tecnológicos que compondrán el dispositivo de generación de potencia, así como otras opciones de confinamiento “no tan en el mercado” como puede ser la línea de los grandes dispositivos Stellarators Helicoidales, ó los Tokamaks Esféricos (en magnético); ó el uso de láseres mucho más eficientes y por supuesto repetitivos, la combinación de láseres de alta potencia con los de alta intensidad (en lo que se ha dado en llamar “ignición rápida”), el uso de iones pesados ó el uso de dispositivos Z-pinch que generen intensos campos de radiación (en el caso de la inercial).

En esta sub-línea de investigación, el Grupo de Investigación en “**Fusión nuclear inercial y tecnología de fusión**”, del Departamento de Ingeniería Nuclear mantiene activas las siguientes áreas de trabajo:

- Simulación numérica de plasmas
- Métodos numéricos para fluidodinámica, y flujos turbulentos.
- Física y tecnología de la fusión por confinamiento inercial.
- Teoría del transporte de partículas y radiación.
- Aceleradores de partículas.
- Simulación de blancos de fusión por confinamiento inercial.
- Transporte de electrones.
- Interacción láser con la materia.
- Métodos de diseño de cámaras de fusión
- Diagnóstico de plasmas.
- Física de fluidos computacional.
- Simulación computacional de fluidodinámica y radiación en plasmas FCI.
- Fluencia y daño neutrónico en vasijas de reactores de agua a presión: simulación multiescala.
- Técnicas de simulación atomística de materiales.
- Análisis de activación y daño por irradiación neutrónica de materiales en reactores de fusión nuclear

### ***Referentes Internacionales***

Existen Programas de Doctorado similares en las siguientes universidades de otros países, entre otras: Massachussets-Lowell, Idaho State, Georgia Institute of Technology, Kansas, North Carolina, Oregon, Purdue, Rensselaer, Texas A&M, Berkeley, Illinois, Ohio State, Pennsylvania State y Wisconsin en EE.UU., Paris XII e INSTN en Francia, Torino, Pisa, Politecnico de Milano en Italia, Karlsruhe en Alemania, KTH en Suecia y muchas más.

En particular hay que destacar que existen acuerdos de movilidad de alumnos con prácticamente todas las universidades europeas con programas nucleares equivalentes, a través de la pertenencia a la red ENEN (*European Nuclear Education Network*).

## Línea de Investigación 2: ENERGÍAS RENOVABLES, COMBUSTIBLES Y MEDIO AMBIENTE

Esta línea pretende aprovechar aquellas áreas de I+D del campo de la Energía en las que son expertos los miembros de los Grupos de investigación del Departamento de Ingeniería Energética y Fluidomecánica. Con ello se aspira también a cubrir una oferta de doctorados de los que la UPM como universidad técnica no puede estar ausente, y que tienen su reflejo internacional más evidente en el SET-Plan de la UE. Hay que reconocer que dicho plan, que entre otras cosas no dispone de presupuesto propio, tiene más aspiraciones de catalizador que de dinamizador, y nació con la esperanza de fomentar tanto las nuevas tecnologías que no hiciera falta replantearse ningún plan alternativo. Más aún, se tenía esperanzas de poner en marcha la EERA (*European Energy Research Alliance*) en la que convergieran la mayor parte de los grandes centros de I+D y pusieran en común sus estrategias, para evitar solapamientos y lagunas, y para crear sinergias. Y aquí es obligado reconocer dos cuestiones: el escaso éxito en poner en común los planes nacionales de I+D Energética y la escasa presencia de las universidades en esa iniciativa de coordinación sinérgica de esfuerzos investigadores en el tema energético.

Más aún, la propia UE se contradijo en sus políticas, pues casi al mismo tiempo lanzó las KIC, *Knowledge and Innovation Communities*, con carácter de concurrencia competitiva, y por tanto en franca contradicción con la puesta en común de la EERA. Una de las primeras KIC convocadas fue la de energía, la cual fue ganada por el consorcio InnoEnergy (<http://kic-innoenergy.com/>), que tiene su sede central en Delft (Países Bajos).

Aunque el concepto de Desarrollo Sostenible se presenta a menudo como una concepción unitaria, para lograr unas condiciones más armónicas en las actividades socioeconómicas, lógicamente cabe segmentarlo en campos diferenciados, que sin duda interactúan con otros campos, pero que presentan una problemática bien definida. Así se ha hecho en InnoEnergy, y aunque no tiene por qué ser un ejemplo orientativo, sí se entiende perfectamente que tenga un polo dedicado a la Energía Nuclear Sostenible y su convergencia con las Renovables en Grenoble (Francia), otro a la de Energía de los Combustibles Químicos en Stuttgart (Alemania) y su sede Ibérica de Energías Renovables en Cataluña, figurando como coordinador de área el IREC (Instituto de Investigación Energética de Cataluña), además de otras.

Esta segmentación en líneas de coherencia interna resulta muy útil en el caso de la Energía, que sin embargo quedaría coja o desvertebrada si no se contara con la existencia de una serie de materias que son transversales, tales como Tecnología Eléctrica, Resistencia de Materiales, Termotecnia, Tecnología Electrónica, Mecánica de Fluidos, Termodinámica Aplicada, etc.. Lo cual lleva a una “Estructura matricial”, la cual tendrá diversa significación en la fase formativa previa al Programa y luego en la de investigación propiamente dicha de los futuros doctores, pues en la primera el alumno habrá de completar su formación en las materias transversales, e iniciarse con la debida intensidad en la línea de investigación en la que va a hacer su tesis; y en la segunda tendrá que utilizar herramientas analíticas y de

cálculo, procedentes de las materias transversales, y sus capacidades innovadoras se habrán de proyectar en el tema escogido.

El resultado deberá ser la formación de doctores con profunda capacidad de innovación en el ámbito correspondiente de su especialidad, y con demostrada capacidad de trabajo en un proyecto de enjundia, cubriendo la difícil tarea de sincronización de la investigación para un fin objetivado y práctico.

Estas últimas facetas implicarán unas características metodológicas distintivas de este Programa, y de gran utilidad práctica, pues las tareas asignadas en cada tesis doctoral, aparte de tener interés en sí mismas, han de aportar un valor añadido que se integre en un proyecto de investigación ideado para dar nueva (y mejor) respuesta, a alguna necesidad específica dentro del campo de la Energía renovable y los combustibles para el desarrollo energético sostenible.

Desarrollo que es sin duda uno de los campos claves entre los desafíos tecnológicos existentes, tanto por su incidencia en el bienestar personal y colectivo, como por su influencia en la competitividad económica, como por las repercusiones medioambientales; y dentro de ellas, las de carácter global, y en concreto el Calentamiento Global debido a la intensificación del efecto invernadero de la atmósfera.

Todo este conjunto de reflexiones justifican la constitución de esta Línea de Investigación, bien identificada en contexto y condiciones de contorno, bien estructurada internamente, y sobre la cual hay expectativas fundadas de éxito, habida cuenta la ejecutoria del profesorado implicado en la misma.

### **Sub-líneas de Investigación**

La investigación estará agrupada en dos familias de sub-líneas más concretas, siendo estas últimas los verdaderos ejes de las investigaciones que se proponen, y en los cuales habrá que definir coherentemente los Proyectos unitarios de integración de trabajos doctorales. Estas son las siguientes:

#### **Energías Renovables**

- ***Energía termosolar para generación de electricidad.***

En esta sub-línea trabaja principalmente el Grupo de Investigación de Modelización de Sistemas Termoenergéticos (GIT/UPM). Una de las características de la Solar Termoeléctrica (STE) es la amplia variedad en la tipología de sus plantas, e incluso la multiplicidad de opciones dentro de una misma tecnología. Existen sistemas de concentración lineal (Fresnel, cilindro parabólicos) de concentración en dos ejes con helióstatos distribuidos (torre central) y de dos ejes con helióstato unitario (disco parabólico) y aunque la mayor parte del esfuerzo realizado hoy día se centra en los campos solares cilindro parabólicos, las expectativas de torre central son muy importantes, como también lo son los montajes Fresnel. Sin duda los que pueden conseguir mayores temperaturas en el volumen focal son los discos parabólicos, pero hay que tener en cuenta que el rendimiento de captación solar disminuye al aumentar dicha temperatura, pues con ello aumentan las pérdidas por radiación y

convección. Para cada tipo de instalación hay importantes opciones, referidas sobre todo a:

- Fluido calorífero (en el campo solar y en el ciclo termodinámico)
- Factor de concentración y rango de temperaturas
- Ciclo de potencia (siendo su elección muy dependiente del rango de temperaturas escogido y del fluido usado)
- Almacenamiento térmico (que a su vez abre nuevas posibilidades sobre el uso del mismo fluido calorífero que en el campo solar; siendo a su vez factible el almacenamiento en diversos tipos de material).

El objetivo final del desarrollo tecnológico debe ser la reducción de costes y el incremento del rendimiento global de la planta.

En este sentido cabe señalar, como ratificación internacional de la capacidad del equipo investigador, el GIT/UPM ha firmado un convenio-contrato con el Institute of Advanced Sustainability Studies de Potsdam (Alemania) avalado por el Bundesministerium fuer Forschung; y por el cual se le encarga al GIT/UPM el desarrollo de un exigente programa de simulación de plantas termosolares de generación de energía eléctrica; en base a las publicaciones y patentes concedidas al grupo. Esta documentación técnica conforma una línea unitaria para el desarrollo de una nueva familia de plantas termosolares en las que sea posible una optimización de sus grados de libertad en el diseño, que reduzca sensiblemente el coste de la electricidad generada.

- **Energía eólica.** Todos los temas que se han estudiado y sobre los que se continuará investigando en el futuro son aplicaciones de la mecánica de fluidos a la Energía Eólica. En esta línea trabaja principalmente el Grupo de investigación en “Mecánica de fluidos aplicada a la Ingeniería Industrial”. Las áreas de trabajo en las que se ha adquirido más experiencia y se mantienen proyectos activos son las siguientes:

**Estelas de aeroturbinas.** La aeroturbina extrae del viento energía cinética, lo que se traduce en una reducción de su velocidad que afecta a la producción de máquinas adyacentes, fundamentalmente a la de aquellas situadas a sotavento. A distancias suficientemente lejanas este efecto se ve amortiguado por el arrastre del aire exterior. Aun más importante es que en la estela de la máquina, debido a la mezcla de corrientes de aire de diferente velocidad, se produce un notable incremento de la turbulencia, lo que afecta a las cargas de fatiga y a la vida de las aeroturbinas afectadas, haciendo que aquellas máquinas que sufren importantes efectos de estelas deban ser de categoría superior y por tanto más caras. Otra consecuencia de la estela es que irregulariza el perfil de viento incidente sobre la aeroturbina afectada, lo que también influye en las cargas fluctuantes que sufren las palas en su rotación. Todo ello hace necesario conocer y cuantificar estos efectos para en la medida de lo posible aminorarlos, bien mediante una mejor disposición relativa de las máquinas en los parques eólicos, o mediante actuación sobre los sistema de control tanto de las maquinas que originan la estela como de los que la sufren.

El Grupo ha estado muy activo en estos temas y hace casi 30 años y de forma pionera, propuso un programa de cálculo denominado UPMWAKE, que resolvía las ecuaciones del flujo turbulento en la estela. Se utilizaba un modelo k-epsilon de dos ecuaciones para modelar la turbulencia, y se hacía la aproximación de tipo parabólico para integrar las ecuaciones, de manera que se utilizaba una técnica de marching o avance en la dirección del viento incidente. De esta forma dicha información no podía viajar aguas arriba o a barlovento. Precisamente fue este tipo de aproximación la que propicio que unos diez años después dicho programa se extendiese a modelar el efecto de estelas superpuestas en un parque eólico completo, creándose el programa UPMPARK. Más recientemente, el modelo de turbulencia se ha visto sucesivamente modificado y completado incluyendo otros modelos de cierre que generalmente incluyen el cálculo de todos los elementos del tensor de esfuerzos turbulentos. Esto permite estudiar la anisotropía de la turbulencia en la estela, de gran importancia al cuantificar sus efectos en la aeroturbina afectada. Los últimos desarrollos se refieren al uso de los torbellinos de gran escala (Large Eddy Simulation LES), que permiten calcular aquellas oscilaciones turbulentas del flujo de tamaño mayor que la malla de cálculo, los cálculos del Grupo también fueron pioneros y hoy día hay multitud de programas que utilizan esta técnica, aunque con un coste computacional muy alto. En la actualidad se trabaja en un modelo híbrido, mezcla de UPMPARK y de LES, en realidad es un k-epsilon no estacionario en el que se simula de forma estocástica las oscilaciones del viento turbulento incidente, reproduciendo las oscilaciones en bloque de la estela (Meandering); se espera que este modelo reproduzca las oscilaciones de la estela de una forma más económica y controlada que el LES.

**Efectos Orográficos y otras características del terreno.** Al igual que en el caso de las estelas anterior, la configuración topográfica local a nivel de microescala tiene una notable importancia tanto en la producción del parque eólico como en la turbulencia.

El Grupo de investigación ha elaborado un programa denominado UPMORO para el estudio de dichos efectos cuando las pendientes e irregularidades del terreno son lo suficientemente pequeñas para poder suponer que su efecto sobre el campo de velocidades también es pequeño, de manera que se puedan linealizar las ecuaciones y superponer diferentes resultados. Se han hecho comparaciones con el código comercial WASP obteniendo resultados muy similares, con la diferencia que el nuestro es abierto y nos permite hacer otro tipo de trabajos como la superposición con el efecto de estelas del apartado anterior, o la estimación de los efectos de la turbulencia, temas en los que estamos trabajando en la actualidad.

Una desventaja importante tanto de WASP como UPMORO es que, para configuraciones complejas con desprendimientos de corriente, dichos códigos no son válidos. Se ha trabajado y se continúa trabajando en nuestro grupo en la aplicación de códigos comerciales de ecuaciones completas al estudio de terrenos complejos y en comparar los resultados con los de los programas linealizados para establecer sus límites de validez y ver formas de extender su campo de aplicabilidad, ya que lógicamente los programas de ecuaciones completas son mucho más costosos.

**Predicción.** Este es un tema de gran importancia ligado fundamentalmente a la predicción que tienen que hacer los operadores de los parques eólicos de su producción en plazos de varios días. La contribución ha estado ligada al desarrollo de una tesis en la que se contemplaban tanto los métodos estadísticos como meteorológicos. Lógicamente, esa contribución ha estado más ligada a este último aspecto, y se refería fundamentalmente a la aplicación del procedimiento anterior de microescala a un viento incidente sobre el arque predicho a partir de la estimación del viento geostrófico

**Aerodinámica.** El Grupo ha desarrollado modelos de cálculo aerodinámico basados tanto en el elemento de pala como en la estimación de velocidades inducidas en el rotor mediante la ley de Biot Savart. En su tiempo se hicieron pre-diseños de aeroturbinas para GESA y CASA que se compararon con resultados experimentales medidos en el INTA. En la actualidad se ha propuesto otro prototipo para una compañía pequeña. Hay aspectos aerodinámicos que también son necesarios para el estudio de las estelas al establecer las condiciones de contorno apropiadas.

- **Optimización de sistemas termodinámicos.** La actividad investigadora del Grupo siempre ha estado ligada a los sistemas de producción de energía y su optimización termodinámica. A lo largo de los años se han desarrollado programas de simulación propios, PATITUG y CICLOGRAF, que incorporaban un tratamiento riguroso, en la descripción de los fluidos, de los procesos y de los sistemas involucrados en las instalaciones energéticas. Gracias a estos programas se han podido abordar estudios que no se habrían podido realizar con los programas comerciales usuales.

Conscientes de la importancia que las energías renovables están adquiriendo en el mundo actual y más concretamente en nuestro país, en los últimos años las actividades se han centrado en el estudio de plantas con energías renovables. Se han estudiado las configuraciones o ciclos termodinámicos más adecuados en las plantas geotérmicas de alta y baja entalpía, así mismo se ha analizado las prestaciones de diferentes combustibles en instalaciones de turbinas de gas (biogases, gases de síntesis e incluso bio-alcoholes), obtenidos de diferentes sustratos de biomasa, también se han analizado instalaciones híbridas energía fósil-energía solar con el objetivo de identificar franjas óptimas en las que la hibridación es aconsejable. En todas ellas se ha hecho uso de las características variables termodinámicas, fundamentalmente de la exergía, muy útil como herramienta de diseño, análisis y optimización y también en la minimización de los impactos medioambientales y en el desarrollo sostenible.

Toda la experiencia del Grupo en plantas de energías no renovables se vuelca actualmente en el estudio de plantas con biomasa y en instalaciones híbridas solar-fósil. En éstas últimas, principalmente porque ambas tecnologías usan muchos elementos comunes, tales como el bloque de potencia y la instalación eléctrica, y su integración es posible con la tecnología actual. Estas instalaciones presentan ventajas sobre las tecnologías solo-solares: fundamentalmente mayor rendimiento y menor inversión dado que el tamaño del campo solar puede ser significativamente más pequeño. En este contexto, es especialmente interesante desarrollar un marco teórico sobre la hibridación solar-fósil que permita valorar técnicamente todas las

posibilidades y compararlas frente a las tecnologías convencionales. El trabajo del Grupo consiste en crear metodologías y herramientas termodinámicas para analizar técnicamente plantas híbridas, maximizando la energía generada por unidad de energía fósil consumida.

Las líneas de investigación han sido apoyadas por Proyectos financiados en parte por Cátedras Universidad-Empresa de la ETS de Ingenieros durante los últimos dos años (Cátedra Repsol y Cátedra Elecnor de Energías Renovables y Eficiencia Energética).

Las líneas de investigación han dado lugar en los últimos cinco años a diferentes publicaciones en revistas del JCR y que aparecen reflejadas en los curriculum de los profesores participantes en este Programa de Doctorado.

- **Combustibles y Medio Ambiente.** La demanda energética en los países industrializados se cubre principalmente mediante el consumo inmoderado de combustibles fósiles. Este modelo energético no es sostenible desde el punto de vista económico, ambiental ni social. La solución a esta situación descansa sobre tres pilares fundamentales. Por un lado, el desarrollo de tecnologías para la transformación, distribución y consumo energético que sean más respetuosas con el medio ambiente; por otro lado, la diversificación en el uso de recursos energéticos, principalmente potenciando el uso de aquellos que tienen un carácter renovable y un origen local; finalmente, la mejora en la eficiencia energética mediante el desarrollo de tecnologías y estrategias que permitan reducir el consumo energético manteniendo los niveles de bienestar y desarrollo actuales. En respuesta a la situación que se describe, se plantean tres áreas de trabajo:

**Motores:** desde la Revolución Industrial, las máquinas y los motores térmicos han permitido la transformación de la energía química contenida en los combustibles en energía mecánica. Esta energía mecánica se emplea en aplicaciones diversas como la generación de electricidad, el transporte o la producción industrial. Existe la necesidad de desarrollar motores térmicos cada vez más eficientes, de mayores prestaciones y menores emisiones contaminantes. También es necesario adaptar estos motores, así como cualquier tecnología de transformación energética, a las particularidades de combustibles alternativos, no ligados a recursos no renovables. Para ello se investiga en el desarrollo de nuevos diseños y elementos mecánicos, el comportamiento fluido-dinámico de los combustibles y los productos de combustión, la optimización de las condiciones de operación tanto a nivel de laboratorio como en su uso comercial y la formación de contaminantes. En estos estudios, la experimentación y la simulación deben coordinarse para obtener el mayor beneficio de ambas.

**Combustibles:** las investigaciones en el desarrollo de combustibles se centran en dos áreas principales: por un lado, la mejora y reformulación de combustibles convencionales de origen fósil; por otro, el desarrollo de combustibles alternativos de origen renovable y origen local, principalmente aquellos de origen biológico o residual (plásticos, elastómeros). Entre estos combustibles sostenibles cabe resaltar el bio-gas derivado de procesos de digestión anaerobia; el bio-diesel y el bio-etanol para el

transporte; el gas de síntesis derivado de procesos de gasificación de biomasa; el bio-aceite derivado de la pirolisis rápida de biomasa lignocelulósica. Estos combustibles pueden emplearse tanto en sistemas de producción de potencia como en sistemas de generación térmica. El éxito comercial de estos productos energéticos alternativos requiere por un lado el desarrollo de tecnologías que permitan optimizar sus propiedades combustibles, reducir su coste económico y minimizar el impacto ambiental asociado a su producción, distribución y consumo. Para ello se investiga en la caracterización química, física y combustible de estos productos, en la optimización de los procesos químicos de combustión mediante estudios experimental y de simulación.

**Análisis ambiental de productos, proyectos y actividades energéticos:** la generación, distribución y consumo de energía genera impactos en nuestro entorno. Lo mismo ocurre en el desarrollo de proyectos energéticos, como la construcción de un parque eólico o una central térmica. Es necesario cuantificar estos efectos de forma precisa y objetiva, con el fin de evaluar distintas alternativas y tomar decisiones en cuanto a las estrategias energéticas a desarrollar. Para ello existen distintas herramientas entre las que caben destacar el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) y la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA). La adaptación de estas herramientas a los productos y proyecto energéticos es fundamental en distintos aspectos como es desarrollo de políticas de promoción de energías renovables, el diseño de una planta de producción eléctrica o la certificación de carburantes de automoción sostenibles.

### **Referentes internacionales**

Para esta línea de investigación se tienen los siguientes referentes internacionales:

- *Erasmus Mundus* Joint Doctorate in Sustainable Energy Technologies and Strategies. Universidad de Comillas, TU Delft, KTH, PSUD 11 y FSR.
- Energy and Environmental Systems. University of Calgary (Canadá).
- Programa de Doctorado en Planificación de Sistemas Energéticos. Universidad de Campiñas (Brasil).
- Ph.D. in Energy & Environmental Policy. Center for Energy and Environmental Policy. University of Delaware (EE.UU.).
- Environmental and Energy Policy—PhD. Michigan Tech (EE.UU.).
- Energy Engineering. AGH Faculty of Energy and Fuels (Polonia).
- KIC InnoEnergy PhD. 4 Tracks: PhD Energy from Chemical Fuels, PhD Renewables (Wind, CSP, Photovoltaics, Wave and Tidal Energy), PhD Clean Coal Technologies, PhD Smart Electric Grid and Electric Storage.

### **Composición de los equipos de investigación**

**Nota previa: Todos los miembros de los equipos de investigación que se citan en ambas líneas de investigación participan solamente en este Programa de Doctorado. En el archivo adjunto se incluyen los aspectos más destacados de sus CV.**

### Línea de Investigación 1: CIENCIA Y TECNOLOGÍA NUCLEAR

#### *Profesores avalistas:*

**D. José Manuel Perlado Martín**, Catedrático de Universidad, área de conocimiento "Ingeniería Nuclear

Director del Instituto de Fusión Nuclear de la Universidad Politécnica de Madrid

Número de Sexenios: 6 (último concedido abarca el periodo 1-ene-2005 a 31-dic-2010)

Tesis dirigidas en los últimos 5 años (2008 a 2012): 3

1. TÍTULO: Development of advanced numerical algorithms for kinetic and dynamic simulations of irradiated systems: kinetic Monte Carlo and dislocation dynamics. (Desarrollo de algoritmos numéricos avanzados para la simulación de la cinética y dinámica de sistemas irradiados: cinética de Monte Carlo y dinámica de dislocaciones).

DOCTORANDO: Enrique Martínez Sáez

DIRECTORES: J.M. Perlado Martín y Jaime Marian de Diego

LECTURA: 11 de Enero de 2008. E.T.S. Ingenieros Industriales, UPM

CALIFICACION: Sobresaliente "CUM LAUDE" por unanimidad

2. TÍTULO: Estudio mediante dinámica molecular de la generación y movilidad de defectos en sílice amarga bajo irradiación: mecanismos a alta energía en presencia de hidrógeno.

DOCTORANDO: Fernando Mota García

DIRECTORES: J.M. Perlado Martín y M<sup>a</sup> José Caturla Terol

LECTURA: 13 de Febrero de 2008. E.T.S. Ingenieros Industriales, UPM

CALIFICACION: Sobresaliente "CUM LAUDE" por unanimidad

3. TÍTULO: Detección, caracterización y modelización de los defectos de las varillas de combustible y su efecto en el comportamiento de los radionucleidos en el circuito primario de los reactores PWR.

DOCTORANDO: María Aránzazu Tígeras Menéndez

DIRECTORES: J.M. Perlado Martín y D. Eric Simoni (Doble titulación)

LECTURA: 5 de Mayo de 2009. E.T.S. Ingenieros Industriales, UPM

CALIFICACION: Sobresaliente "CUM LAUDE" por unanimidad

**Dña. Carolina Ahnert Iglesias**, Catedrática de Universidad, área de conocimiento "Ingeniería Nuclear

Profesora del Dpto. de Ingeniería Nuclear en la ETS Ing. Navales de la UPM

Número de sexenios: 4 (último concedido abarca el periodo 1-ene-1997 a 31-dic-2007)

Tesis dirigidas en los últimos 5 años (2008 a 2012): 1

1. TÍTULO: Advanced core-lattices multiscale methods in multigroups and 3D for nuclear reactors.

DOCTORANDO: José Javier Herrero Carrascosa

DIRECTOR: Carolina Ahnert Iglesias

LECTURA: 13 de diciembre de 2012. E.T.S. Ingenieros Industriales, UPM

CALIFICACION: "CUM LAUDE" por unanimidad

**D. Pedro Velarde Mayol**, Profesor Titular de Universidad, área de conocimiento "Ingeniería Nuclear

Profesor del Dpto. de Ingeniería Nuclear en la ETS Ing. Industriales de la UPM

Número de Sexenios: 4 (último concedido abarca el periodo 1-ene-2006 a 31-dic-2011)

Tesis dirigidas en los últimos 5 años (2008 a 2012): 1

1. TÍTULO: Mejora de un código hidrodinámico con transporte de radiación en malla adaptativa refinada (AMR) y su aplicación a los láseres de rayos X.

DOCTORANDO: Eduardo Oliva Gonzalo

DIRECTOR: Pedro Velarde Mayol

LECTURA: 1 de julio de 2010. E.T.S. Ingenieros Industriales, UPM

CALIFICACION: Apto "CUM LAUDE" por unanimidad

Premio extraordinario

*Equipo de investigación vinculado a la línea de Investigación [CIENCIA Y TECNOLOGÍA NUCLEAR](#) (se indican solamente los investigadores doctores):*

| Nombre y apellidos                                                                                              | Universidad / Centro / Departamento                 | Categoría                  | Tesis doctorales dirigidas | Sexenios de investigación reconocidos (periodo del último reconocido) |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| <b><i>Miembros del Grupo de Investigación en "Fusión nuclear inercial y tecnología de fusión" de la UPM</i></b> |                                                     |                            |                            |                                                                       |
| José Manuel Perlado Martín                                                                                      | UPM / ETSI Industriales / Depto. Ingeniería Nuclear | Catedrático de Universidad | 13                         | 6 (2005-2010)                                                         |
| Emilio Mínguez Torres                                                                                           | UPM / ETSI Industriales / Depto. Ingeniería Nuclear | Catedrático de Universidad | 7                          | 6 (2005-2010)                                                         |

|                                                                                                                         |                                                              |                                 |    |                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------|----|-----------------------------|
| Pedro Velarde Mayol                                                                                                     | UPM / ETSI Industriales / Depto. Ingeniería Nuclear          | Profesor Titular de Universidad | 2  | 4 (2006-2011)               |
| Oscar Cabellos de Francisco                                                                                             | UPM / ETSI Industriales / Depto. Ingeniería Nuclear          | Profesor Titular de Universidad | -- | 2 (2002-2007)               |
| Raquel Gonzalez Arrabal                                                                                                 | UPM / Instituto de Fusión Nuclear / Dpto. Ingeniería Nuclear | Profesor Contratado Doctor      | 1  | 2 (2006-2011)               |
| Emma del Rio Redondo                                                                                                    | UPM / Instituto de Fusión Nuclear / Dpto. Ingeniería Nuclear | Profesor Contratado Doctor      | -- | 1 (1996-2001)               |
| Antonio Juan Rivera de Mena                                                                                             | UPM / Instituto de Fusión Nuclear / Dpto. Ingeniería Nuclear | Profesor Contratado Doctor      | -- | 2 (2005-2010)               |
| <b>Miembros del Grupo de investigación en “Ciencia y tecnología de Sistemas avanzados de fisión nuclear” de la UPM:</b> |                                                              |                                 |    |                             |
| Carolina Ahnert Iglesias                                                                                                | UPM / ETSI Navales / Depto. Ingeniería Nuclear               | Catedrática de Universidad      | 3  | 4 (1997-2007)               |
| Eduardo Gallego Díaz                                                                                                    | UPM / ETSI Industriales / Depto. Ingeniería Nuclear          | Catedrático de Universidad      | 6  | 3 (2003-2008)               |
| Nuria García Herranz                                                                                                    | UPM / ETSI Industriales / Depto. Ingeniería Nuclear          | Profesor Titular de Universidad | 1  | 1 (2005-2010)               |
| Diana Cuervo                                                                                                            | UPM / ETSI Navales / Depto. Ingeniería Nuclear               | Profesor Contratado Doctor      | 1  | (1º solicitado en dic-2012) |
| Gonzalo Jiménez Varas                                                                                                   | UPM / Depto. Ingeniería Nuclear                              | Profesor Ayudante               | -  | -                           |
| <b>Otros profesores de la UPM</b>                                                                                       |                                                              |                                 |    |                             |

|                            |                                                |                                 |   |               |
|----------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------|---|---------------|
| José César Queral Salazar* | UPM / ETSI Minas / Depto. Sistemas Energéticos | Profesor Titular de Universidad | 4 | 1 (2002-2007) |
|----------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------|---|---------------|

*Proyecto de investigación activo, obtenido en convocatorias competitivas:*

TÍTULO DEL PROYECTO: **NURESAFE: Nuclear Reactor Safety Simulation Platform**

ENTIDAD FINANCIADORA: EURATOM (UE) 7º Programa Marco

Referencia: Grant Agreement nº 323263

DURACIÓN: Del 01-01-2013 al 31-12-2015

INSTITUCIONES PARTICIPANTES: 23 [Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives (coordinator); Electricité de France ; Helmholtz-Zentrum-Dresden-Rossendorf ; Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit ; Karlsruhe Institut für Technologie; Paul Scherrer Institut; ASCOMP GmbH; Kungl Tekniska Högskolan; Università di Pisa; Universidad Politécnica de Madrid; Université Catholique de Louvain La Neuve; Jožef Stefan Institute; VTT Technical Research Centre of Finland; Lappeenranta University of Technology; Inst. for Nuclear Research and Nuclear Energy; Ustav jaderného výzkumu Rez a.s.; KFKI-AEKI Atomic Energy Research Institute ; Imperial College London; Institut de Radioprotection et Sûreté Nucléaire; LGI Consulting; National Centre for Nuclear Research; Agenzia Nazionale per le Nuove Technologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile].

NÚMERO DE INVESTIGADORES PARTICIPANTES DE LA UPM: 10

PRESUPUESTO TOTAL PARA LA UPM: 316.517 Euros

INVESTIGADOR PRINCIPAL POR LA UPM: Carolina Ahnert Iglesias

## Línea de Investigación 2: ENERGÍAS RENOVABLES, COMBUSTIBLES Y MEDIO AMBIENTE

*Profesores avalistas:*

**D. José María Martínez-Val Peñalosa**, Catedrático de Universidad, área de conocimiento "Máquinas y Motores Térmicos"

Profesor del Dpto. de Ingeniería Energética y Fluidomecánica en la ETS Ing. Industriales de la UPM

Número de Sexenios: 6 (último concedido abarca el periodo 1-ene-2005 a 31-dic-2010)

Tesis dirigidas en los últimos 5 años (2008 a 2012): 1

1. TÍTULO: Análisis de las características y efectos técnico-económicos de la generación eléctrica con energías renovables en la España peninsular. impacto en la estructura general de generación, gestión y mercado.

DOCTORANDO: Fermín Pedro Moreno García

DIRECTOR: José María Martínez-Val Peñalosa  
LECTURA: 22 de febrero de 2012. E.T.S. Ingenieros Industriales, UPM  
CALIFICACION: Apto "CUM LAUDE" por unanimidad

**D. Antonio Crespo Martínez**, Catedrático de Universidad emérito contratado, área de conocimiento "Mecánica de Fluidos"  
Departamento de Ingeniería Energética y Fluido-mecánica, ETS Ing. Industriales de la UPM  
Número de sexenios: 7 (último concedido abarca el periodo 1-ene-2001 a 31-dic-2006)

Tesis dirigidas en los últimos 5 años (2008 a 2012): 2

1. TÍTULO: Caracterización numérica de la turbulencia en la estela de una aeroturbina mediante un modelo de simulación de grandes escalas.

DOCTORANDO: Ángel Jiménez Álvaro

DIRECTOR: Antonio Crespo Martínez

LECTURA: 5 de marzo de 2008. E.T.S. Ingenieros Industriales, UPM

CALIFICACION: Apto "CUM LAUDE" por unanimidad

2. TÍTULO: Balística externa de cohete sonda considerando los fenómenos de interferencia aerodinámica.

DOCTORANDO: Jony Oliver Lazo Ramos

DIRECTORES: Vassili Samsonov y Antonio Crespo Martínez

LECTURA: 30 de octubre de 2008. E.T.S. Ingenieros Industriales, UPM

CALIFICACION: Apto "CUM LAUDE" por unanimidad

**D. Alberto Abánades Velasco**, Profesor Titular de Universidad, área de conocimiento "Máquinas y Motores Térmicos"

Profesor del Dpto. de Ingeniería Energética y Fluidomecánica en la ETS Ing. Industriales de la UPM

Número de Sexenios: 1 (último concedido abarca el periodo 1-ene-2005 a 31-dic-2010)

Tesis dirigidas en los últimos 5 años (2008 a 2012): 3

1. TÍTULO: Análisis y propuestas de sistemas solares de alta exergía que emplean agua como fluido calorífero.

DOCTORANDO: María José Montes Pita

DIRECTORES: Alberto Abánades Velasco y Marcelino Sánchez González

LECTURA: 20 de noviembre de 2008. E.T.S. Ingenieros Industriales, UPM

CALIFICACION: Sobresaliente "CUM LAUDE" por unanimidad

2. TÍTULO: Sistemas de generación eléctrica mediante calderas de vapor energizadas por radiación solar concentrada.

DOCTORANDO: Javier Muñoz Antón

DIRECTOR: Alberto Abánades Velasco

LECTURA: 21 de noviembre de 2008. E.T.S. Ingenieros Industriales, UPM

CALIFICACION: Sobresaliente "CUM LAUDE" por unanimidad

3. TÍTULO: Desarrollo de criterios nucleares de diseño de fuentes de neutrones de espalación.

DOCTORANDO: Fernando Sordo Balbín

DIRECTOR: Alberto Abánades Velasco

LECTURA: 30 de septiembre de 2008. E.T.S. Ingenieros Industriales, UPM

CALIFICACION: Sobresaliente "CUM LAUDE" por unanimidad

*Equipo de investigación vinculado a la línea de Investigación ENERGÍAS RENOVABLES, COMBUSTIBLES Y MEDIO AMBIENTE (se indican solamente los investigadores doctores):*

| Nombre y apellidos                                                                                                       | Universidad / Centro / Departamento                | Categoría                       | Tesis doctorales dirigidas | Sexenios de investigación reconocidos (periodo del último reconocido) |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| <b><i>Miembros del Grupo de Investigación de “Modelización de Sistemas Termoenergéticos” de la UPM</i></b>               |                                                    |                                 |                            |                                                                       |
| José M <sup>a</sup> Martínez-Val Peñalosa                                                                                | UPM – ETSII Ingeniería Energética y Fluidomecánica | Catedrático de Universidad      | 2                          | 6 (2005-2010)                                                         |
| Manuel Valdés del Fresno                                                                                                 | UPM – ETSII Ingeniería Energética y Fluidomecánica | Profesor Titular de Universidad | 7                          | 2 (2005-2010)                                                         |
| Alberto Abánades Velasco                                                                                                 | UPM – ETSII Ingeniería Energética y Fluidomecánica | Profesor Titular de Universidad | 3                          | 1 (2005-2010)                                                         |
| Javier Muñoz Antón                                                                                                       | UPM – ETSII Ingeniería Energética y Fluidomecánica | Profesor Ayudante Doctor        | --                         | --                                                                    |
| <b><i>Miembros del Grupo de investigación en “Mecánica de fluidos aplicada a la Ingeniería Industrial” de la UPM</i></b> |                                                    |                                 |                            |                                                                       |
| Javier Jiménez Fernández                                                                                                 | UPM – ETSII Ingeniería Energética y Fluidomecánica | Catedrático de Universidad      | --                         | 4 (2002-2007)                                                         |
| Javier García García                                                                                                     | UPM – ETSII Ingeniería Energética y Fluidomecánica | Profesor Titular de Universidad | 1                          | 2 (2001-2006) (solicitado el 3º)                                      |
| Emilio Migoya                                                                                                            | UPM – ETSII                                        | Profesor Titular de             | --                         | 1 (1998-2007)                                                         |

|                                                                                                   |                                                    |                                 |    |                                                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------|----|-------------------------------------------------------|
| Valor                                                                                             | Ingeniería Energética y Fluidomecánica             | Universidad                     |    |                                                       |
| Fernando Manuel Martín                                                                            | UPM – ETSII Ingeniería Energética y Fluidomecánica | Profesor Titular de Universidad | 1  | 3 (2002-2007)                                         |
| Antonio Crespo Martínez                                                                           | UPM – ETSII Ingeniería Energética y Fluidomecánica | Catedrático (Profesor Emérito)  | 13 | 7 (2001-2006)                                         |
| <b>Miembros del Grupo de investigación en “Termodinámica Aplicada a la Ingeniería Industrial”</b> |                                                    |                                 |    |                                                       |
| Celina González Fernández                                                                         | UPM – ETSII Ingeniería Energética y Fluidomecánica | Profesor Titular de Universidad | -- | 2 (1991-1999)                                         |
| Ángel Jiménez Álvaro                                                                              | UPM – ETSII Ingeniería Energética y Fluidomecánica | Profesor Contratado Doctor      | -- | 1 (2004-2009)                                         |
| <b>Otros profesores de la UPM</b>                                                                 |                                                    |                                 |    |                                                       |
| Jesús Casanova Kindelán                                                                           | UPM – ETSII Ingeniería Energética y Fluidomecánica | Catedrático de Universidad      | 12 | 2 (2000-2005) (solicitado en dic-2012 para 2007-2012) |

*Proyectos de investigación activo, obtenido en convocatorias competitivas:*

**TÍTULO DEL PROYECTO: Adecuación y evaluación de prestaciones de componentes para ciclos combinados solares. COMBINADOS SOLARES**

**ENTIDAD FINANCIADORA:** Plan nacional de I+D, Subprograma de Proyectos de investigación fundamental no orientada, Convocatoria 2012

**ENTIDADES PARTICIPANTES:** Universidad Politécnica de Madrid

**DURACIÓN,** desde: 2012 hasta: 2014

**CUANTÍA DE LA SUBVENCIÓN:** 12870 €

**INVESTIGADOR RESPONSABLE DEL PROYECTO:** Manuel Valdés del Fresno, miembro del grupo de investigación en Sistemas Termoenergéticos ETSII-UPM

**NÚMERO DE INVESTIGADORES PARTICIPANTES:** 3 del grupo ETSII-UPM

## **Participación de profesores extranjeros**

En el apartado 1.4 de esta memoria se han detallado los convenios de colaboración que los Departamentos y Grupos de investigación integrantes del presente Programa tienen firmados con otros Grupos e Instituciones de Investigación extranjeras. Dichos convenios servirán como instrumento para canalizar la participación de profesores doctores de otros países en la dirección y evaluación de las tesis. Además se potenciará la participación de profesores doctores extranjeros a través de las asociaciones de universidades a las que la UPM y la ETSII pertenecen, como T.I.M.E. (Top Industrial Managers Europe, <https://www.time-association.org/home>), ENEN (European Nuclear Education <http://www.enen-assoc.org/>, Plasma Physics Application (PLAPA) u otras que contemplan acuerdos específicos para el intercambio de docentes y alumnos en el ámbito del doctorado.

El co-director de tesis extranjero deberá ser un investigador que cumpla tanto los criterios generales del Modelo de Doctorado de la UPM, como los criterios específicos del Programa. Esta colaboración con doctores extranjeros en las tareas de codirección de tesis permitirá potenciar la dimensión internacional del Programa.

## **TESIS DOCTORALES DIRIGIDAS**

Seguidamente se relacionan los datos correspondientes a 10 Tesis Doctorales dirigidas por profesores o investigadores que participan en el Programa de Doctorado en los últimos 5 años, junto con la referencia completa de una de las principales publicaciones que se han derivado de las mismas.

### **Equipo de Investigación 1: CIENCIA Y TECNOLOGÍA NUCLEAR**

1. TÍTULO: Development of advanced numerical algorithms for kinetic and dynamic simulations of irradiated systems: kinetic Monte Carlo and dislocation dynamics (Desarrollo de algoritmos numéricos avanzados para la simulación de la cinética y dinámica de sistemas irradiados: cinética de Monte Carlo y dinámica de dislocaciones).

DOCTORANDO: Enrique Martínez Sáez

DIRECTORES: José Manuel Perlado Martín y Jaime Marian de Diego

LECTURA: 11 de Enero de 2008

CALIFICACION: Sobresaliente "CUM LAUDE" por unanimidad

Universidad Politécnica de Madrid, E.T.S. Ingenieros Industriales

PUBLICACIÓN DESTACADA:

Autores: E. Martínez, J. Marian, A. Arsenlisa, M. Victoria, J.M. Perlado

Título: Atomistically informed dislocation dynamics in fcc crystals

Revista: *Journal of the Mechanics and Physics of Solids* ; ISSN: 0022-5096

Volumen: 56      páginas: 869–895      Fecha: 2008

DOI: 10.1016/j.jmps.2007.06.014

Factor de impacto JCR: 3.467

Posición de la revista en su área: 23 de 192 (Q1) en la categoría "Materials Science, Multidisciplinary"

2. TÍTULO: Estudio mediante dinámica molecular de la generación y movilidad de defectos en sílice amarga bajo irradiación: mecanismos a alta energía en presencia de hidrógeno.

DOCTORANDO: Fernando Mota García

DIRECTORES: J.M. Perlado Martín y M<sup>a</sup> José Caturla Terol

LECTURA: 13 de Febrero de 2008

CALIFICACION: Sobresaliente "CUM LAUDE" por unanimidad

Universidad Politécnica de Madrid, E.T.S. Ingenieros Industriales

#### PUBLICACIÓN DESTACADA:

Autores: F. Mota, M.J. Caturla, J.M. Perlado, J. Mollá, A. Ibarra

Título: Molecular dynamics study of structure transformation and H effects in irradiated silica

Revista: *Journal of Nuclear Materials*; ISSN: 0022-3115

Volumen: 386–388      páginas: 75-78

Fecha: April 2009

DOI: 10.1016/j.jnucmat.2008.12.062

Factor de impacto JCR: 1.933

Posición de la revista en su área: 1 de 33 (Q1) en la categoría: Nuclear Science and Technology

3. TÍTULO: Mejora de un código hidrodinámico con transporte de radiación en malla adaptativa refinada (AMR) y su aplicación a los láseres de rayos X.

DOCTORANDO: Eduardo Oliva Gonzalo

DIRECTOR: Pedro Velarde Mayol

LECTURA: 1 de julio de 2010

CALIFICACION: Apto "CUM LAUDE" por unanimidad

Universidad Politécnica de Madrid, E.T.S. Ingenieros Industriales

#### PUBLICACIÓN DESTACADA:

Autores: E. Oliva, P. Zeitoun, P. Velarde, M. Fajardo, K. Cassou, D. Ros, S. Sebban

Título: Optimization of soft x-ray amplifier by tailoring plasma hydrodynamics,

Revista: *Optics Letters* , ISSN: 0146-9592

Volumen: 34 (17) , Páginas: 2640-2642

Fecha: 2009

<http://dx.doi.org/10.1364/OL.34.002640>

Factor de impacto: 3.059

Posición de la revista en su área: 6 de 71 (Q1) en la categoría "Optics"

4. TÍTULO: Advanced core-lattices multiscale methods in multigroups and 3D for nuclear reactors.

DOCTORANDO: José Javier Herrero Carrascosa  
DIRECTOR: Carolina Ahnert Iglesias  
LECTURA: 13 de diciembre de 2012. E.T.S. Ingenieros Industriales, UPM  
CALIFICACION: "CUM LAUDE" por unanimidad

Universidad Politécnica de Madrid, E.T.S. Ingenieros Industriales

PUBLICACIÓN DESTACADA:

Autores: J. J. Herrero, N. García-Herranz, D. Cuervo, C. Ahnert  
Título: Neighborhood-corrected interface discontinuity factors for multi-group pin-by-pin diffusion calculations for LWR  
Revista: *Annals of Nuclear Energy*, Ed. Elsevier (ISSN: 0306-4549)  
Fecha de publicación: Agosto 2012  
Volumen/ Páginas: Vol. 46, pp 106-115  
Indicios de calidad:  
Índice de impacto en el JCR del año 2011: 0.905  
Posición: 18 de 35 (Q3) en la categoría: Nuclear Science and Technology

5. TÍTULO: Desarrollo de un código nodal analítico de difusión neutrónica en multigrupos para reactores nucleares en geometrías 3D rectangulares y hexagonales

DOCTORANDO: Juan Andrés Lozano Montero  
DIRECTORES: Nuria García Herranz y José M<sup>a</sup> Aragonés Beltrán  
LECTURA: 5 de febrero de 2010  
CALIFICACION: "CUM LAUDE" por unanimidad.  
Premio de la European Nuclear Education Network Association, ENEN PhD Event, 2008  
Universidad Politécnica de Madrid, E.T.S. Ingenieros Industriales

PUBLICACIÓN DESTACADA:

Autores: Lozano J.A., Jiménez J., García-Herranz N., Aragonés J.M.  
Título: Extension of the analytic nodal diffusion solver ANDES to triangular-Z geometry and coupling with COBRA-IIIc for hexagonal core analysis  
Revista: *Annals of Nuclear Energy*, Ed. Elsevier (ISSN: 0306-4549)  
Vol: 37, pp. 380-388 (2010)  
Indicios de calidad:  
Índice de impacto en el JCR del año 2010: 0,724  
Posición: 20 de 35 (Q3) en la categoría: Nuclear Science and Technology

**Equipo de Investigación 2:** ENERGÍAS RENOVABLES, COMBUSTIBLES Y MEDIO AMBIENTE

6. TÍTULO: Análisis y propuestas de sistemas solares de alta exergía que emplean agua como fluido calorífero.

DOCTORANDO: María José Montes Pita

DIRECTORES: Alberto Abánades Velasco y Marcelino Sánchez González

LECTURA: 20 de noviembre de 2008.

CALIFICACION: Sobresaliente "CUM LAUDE" por unanimidad

Universidad Politécnica de Madrid, E.T.S. Ingenieros Industriales

PUBLICACIÓN DESTACADA:

Autores: M.J. Montes, A. Abánades, J. Martínez-Val, M. Valdés

Título: Solar multiple optimization for a solar-only thermal power plant, using oil as heat transfer fluid in the parabolic trough collectors

Revista: *Solar Energy* (ISSN: 0038-092X)

Vol: 83 (12), pp. 2165 – 2176 (2009)

Indicios de calidad:

Índice de impacto en el JCR del año 2010: 2.172

Posición: 27 de 79 (Q2) en la categoría: "Energy & Fuels"

7. TÍTULO: Sistemas de generación eléctrica mediante calderas de vapor energizadas por radiación solar concentrada.

DOCTORANDO: Javier Muñoz Antón

DIRECTOR: Alberto Abánades Velasco

LECTURA: 21 de noviembre de 2008.

CALIFICACION: Sobresaliente "CUM LAUDE" por unanimidad

Universidad Politécnica de Madrid, E.T.S. Ingenieros Industriales

PUBLICACIÓN DESTACADA:

Autores: J. Muñoz, A. Abánades, and J.M. Martínez-Val

Título: A conceptual design of solar boiler

Revista: *Solar Energy* (ISSN: 0038-092X)

Vol:83 (9), pp. 1713-1722 (2009)

Indicios de calidad:

Índice de impacto en el JCR del año 2009: 2.011

Posición: 24 de 71 (Q2) en la categoría: "Energy & Fuels"

8. TÍTULO: Caracterización numérica de la turbulencia en la estela de una aeroturbina mediante un modelo de simulación de grandes escalas.

DOCTORANDO: Ángel Jiménez Álvaro

DIRECTOR: Antonio Crespo Martínez

LECTURA: 5 de marzo de 2008. E.T.S. Ingenieros Industriales, UPM

CALIFICACION: Apto "CUM LAUDE" por unanimidad

Universidad Politécnica de Madrid, E.T.S. Ingenieros Industriales

PUBLICACIÓN DESTACADA:

Autores: A Jimenez, A Crespo, E Migoya, J. García  
Título: Large-eddy simulation of spectral coherence in a wind turbine wake  
Revista: Environmental Research Letters (ISSN: 1748-9326)  
Vol: 3, 3 (2008) 015004  
Indicios de calidad:

Índice de impacto en el JCR del año 2010: 1.719

Posición: 70 de 163 (Q2) en la categoría: "Environmental Sciences"

9. TÍTULO: Análisis de las características y efectos técnico-económicos de la generación eléctrica con energías renovables en la España peninsular. impacto en la estructura general de generación, gestión y mercado.

DOCTORANDO: Fermín Pedro Moreno García

DIRECTOR: José María Martínez-Val Peñalosa

LECTURA: 22 de febrero de 2012. E.T.S. Ingenieros Industriales, UPM

CALIFICACION: Apto "CUM LAUDE" por unanimidad

Universidad Politécnica de Madrid, E.T.S. Ingenieros Industriales

#### PUBLICACIÓN DESTACADA:

Autores: F. Moreno and J.M.Martínez-Val

Título: Collateral effects of Renewable energies deployment in Spain. Impact on thermal power plants performance and management

Revista: *Energy Policy* (ISSN: 0301-4215)

Vol: 39, pp. 6561-6574 (2011)

Indicios de calidad:

Índice de impacto en el JCR del año 2010: 2.629

Posición: 21 de 79 (Q2) en la categoría: "Energy & Fuels"

10. TÍTULO: Aspectos de la medición dinámica instantánea de emisiones de motores. Aplicación al desarrollo de un equipo portátil y una metodología para estudios de contaminación de vehículos en tráfico real.

DOCTORANDO: Natalia Fonseca González

DIRECTOR: Jesús Casanova Kindelán

LECTURA: 20 de diciembre de 2012

CALIFICACION: Apto "CUM LAUDE" por unanimidad

Universidad Politécnica de Madrid, E.T.S. Ingenieros Industriales

#### PUBLICACIÓN DESTACADA:

Autores: Fonseca, N., Casanova, J. y Valdés, M.

Título: Influence of the stop/start system on CO<sub>2</sub> emissions of a diesel vehicle in urban traffic.

Revista: *TRANSPORTATION RESEARCH PART D-TRANSPORT AND ENVIRONMENT* (ISSN 1361-9209)

Vol. 16 - 1, pp. 194 - 200. (03/2011).

Indicios de calidad:

Índice de impacto en el JCR del año 2010: 1.108

Posición: 11 de 26 (Q2) en la categoría: "Transportation Science & Technology"

## CONTRIBUCIONES CIENTÍFICAS EN LOS ÚLTIMOS CINCO AÑOS

Seguidamente se relacionan 25 publicaciones de los profesores e investigadores del Programa de Doctorado. Todas ellas pertenecen a revistas indexadas en el ISI-JCR, en áreas relacionadas con las dos líneas de investigación propuestas para el Programa.

### Equipo de Investigación 1: CIENCIA Y TECNOLOGÍA NUCLEAR

1. Autores: E. Martínez, J. Marian, A. Arsenlisa, M. Victoria, J.M. Perlado  
Título: **Atomistically informed dislocation dynamics in fcc crystals**  
Revista: *Journal of the Mechanics and Physics of Solids* (ISSN: 0022-5096)  
Volumen: 56      páginas: 869–895      Fecha: 2008  
DOI: 10.1016/j.jmps.2007.06.014  
Factor de impacto JCR: 3.467  
Posición de la revista en su área: 23 de 192 (Q1) en la categoría "Materials Science, Multidisciplinary"
2. Autores: F. Mota, M.J. Caturla, J.M. Perlado, J. Mollá, A. Ibarra  
Título: **Molecular dynamics study of structure transformation and H effects in irradiated silica**  
Revista: *Journal of Nuclear Materials*; ISSN: 0022-3115  
Volumen: 386-388      páginas: 75-78      Fecha: April 2009  
DOI: 10.1016/j.jnucmat.2008.12.062  
Factor de impacto JCR: 1.933  
Posición de la revista en su área: 1 de 33 (Q1) en la categoría: Nuclea Science and Technology "
3. Autores: E. Oliva, P. Zeitoun, P. Velarde, M. Fajardo, K. Cassou, D. Ros, S. Sebban  
Título: **Optimization of soft x-ray amplifier by tailoring plasma hydrodynamics.**  
Revista: *Optics Letters* , ISSN: 0146-9592  
Volumen: 34 (17)      páginas: 2640-2642      Fecha: 2009  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1364/OL.34.002640>  
Factor de impacto JCR: 3.059  
Posición de la revista en su área: 6 de 71 (Q1) en la categoría "Optics"

4. Autores: Kunioki Mima, A Sunahara, Hiroyuki Shiraga, H Nishimura, H Azechi, T Nakamura, T Johzaki, H Nagatomo, C Garcia y P Velarde  
 Título: **FIREX project and effects of self-generated electric and magnetic fields on electron-driven fast ignition**  
 Revista: *Plasma Phys. Control. Fusion* (ISSN: 0741-3335)  
 Volumen: 52      páginas: 124047 (6pp)      Fecha: 2010  
 Factor de impacto JCR: 2.466  
 Posición de la revista en su área: 6 de 31 (Q1) en la categoría "Physics, Fluids & Plasmas"
  
5. Autores: E. Oliva, M. Fajardo, L. Li, M. Pittman, T. T. T. Le, J. Gautier, G. Lambert, P. Velarde, D. Ros, S. Sebbaan & Ph. Zeitoun  
 Título: **A proposal for multi-tens of GW fully coherent femtosecond soft X-ray lasers.**  
 Revista: *Nature Photonics* (ISSN: 1749-4885)  
 Volumen: 6      páginas: 764–767      Fecha: 2012  
 DOI: 10.1038/nphoton.2012.246  
 Factor de impacto JCR: 29.278  
 Posición de la revista en su área: 1 de 79 (Q1) en la categoría « Optics »
  
6. Autores: Kunioki Mima, V. Tikhonchuk, J.M. Perlado  
 Título: **Inertial fusion experiments and theory**  
 Revista: *Nucl. Fusion* (ISSN: 0029-5515)  
 Volumen: 51      páginas: 094004 (9pp)      Fecha: 2011  
 DOI: 10.1088/0029-5515/51/9/094004  
 Factor de impacto JCR: 4.090  
  
 Posición de la revista en su área: 2 de 31 (Q1) en "Physics, Fluids & Plasmas"
  
7. Autores: J. Alvarez, D. Garoz, R. Gonzalez-Arrabal, A. Rivera and M. Perlado  
 Título: **The role of spatial and temporal radiation deposition in inertial fusion chambers: the case of HiPER**  
 Revista: *Nucl. Fusion* (ISSN: 0029-5515)  
 Volumen: 51      páginas: 053019 (5pp) 5      Fecha: 2011  
 DOI: 10.1088/0029-5515/51/5/053019  
 Factor de impacto JCR: 4.090  
  
 Posición de la revista en su área: 2 de 31 (Q1) en "Physics, Fluids & Plasmas"
  
8. Autores: Cabellos, O.; Klix, A.; Fischer, U.; et al.  
 Título: **Impact of activation cross-section uncertainties on the tritium production in the HFTM specimen cells**  
 Revista: *Journal of Nuclear Materials* (ISSN: 0022-3115)  
 Volumen: 417 Issue: 1-3      páginas: 1307-1310      Fecha: Oct 2011  
 DOI: 10.1016/j.jnucmat.2010.12.269  
 Factor de impacto JCR: 2.052

Posición de la revista en su área: 3 de 35 (Q1) en la categoría "Nuclear Science & Technology"

9. Autores: Cabellos, O.; Fernández, P.; Rapisarda, D.; García-Herranz, N.  
Título: **Assessment of fissionable material behaviour in fission chambers**  
Revista: *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A*  
(ISSN: 0168-9002)  
Volumen: 618 Issue 1-3                      páginas: 248-259.                      Fecha: 2010  
Factor de impacto JCR: 1.142  
Posición de la revista en su área: 28 de 40 (Q3) en la categoría Spectroscopy;  
9 de 34 (Q2) en la categoría Nuclear Science and Technology;  
18 de 27 (Q3) en la categoría Physics, Particles and Fields;  
28 de 61 (Q2) en la categoría Instruments and Instrumentation.
  
10. Autores: H. R. Vega-Carrillo, E. Gallego, A. Lorente, I. P. Rubio, R. Méndez  
Título: **Neutron features at the UPM neutronics hall**  
Revista: *Applied Radiation and Isotopes* (ISSN: 0969-8043)  
Volumen: 70                      páginas: 1603-1607                      Fecha: 2012  
DOI: 10.1016/J.APRADISO.2012.05.003  
Factor de impacto JCR: 1.17  
Posición de la revista en su área: 14 de 35 (Q2) en la categoría Nuclear Science & Technology.
  
11. Autores: C. Queral, J. González-Cadelo, G. Jimenez, E. Villalba  
Título: **Accident Management Actions in an Upper Head SBLOCA with HPSI Failed**  
Revista: *Nuclear Technology* (ISSN: 0029-5450)  
Volumen: 175 number 3                      páginas: 572-593                      Fecha: Sept. 2011  
Factor de impacto JCR: 0.606  
Posición de la revista en su área: 24 de 35 (Q3) en la categoría Nuclear Science & Technology.
  
12. Autores: J. J. Herrero, N. García-Herranz, D. Cuervo, C. Ahnert  
Título: **Neighborhood-corrected interface discontinuity factors for multi-group pin-by-pin diffusion calculations for LWR**  
Revista: *Annals of Nuclear Energy, Ed. Elsevier* (ISSN: 0306-4549)  
Volumen: 46                      páginas: 106.115                      Fecha: 2011  
Factor de impacto JCR: 0.905  
Posición de la revista en su área: 18 de 35 (Q3) en la categoría: Nuclear Science & Technology
  
13. Autores: Lozano J.A., Jiménez J., García-Herranz N., Aragonés J.M.

Título: **Extension of the analytic nodal diffusion solver ANDES to triangular-Z geometry and coupling with COBRA-IIIc for hexagonal core analysis**

Revista: *Annals of Nuclear Energy* Ed. Elsevier (ISSN: 0306-4549)

Volumen: 37 páginas: 380-388 Fecha: 2010

DOI:

Factor de impacto JCR: 0,724

Posición de la revista en su área: 20 de 35 (Q3) en la categoría Nuclear Science & Technology

## **Equipo de Investigación 2: ENERGÍAS RENOVABLES, COMBUSTIBLES Y MEDIO AMBIENTE**

- 14.** Autores: J. Muñoz, J.M. Martínez-Val, R. Abbas, A. Abánades  
Título: **Dry cooling with night cool storage to enhance solar power plants performance in extreme conditions areas**

Revista: *Applied Energy* (ISSN: 0306-2619)

Volumen: 92 páginas: 429-436 Fecha: 2012

Factor de impacto JCR: 5.106 (en 2011)

Posición de la revista en su área: 7 de 81 (Q1) en la categoría "Energy & Fuels"

- 15.** Autores: A. Rovira; M.J. Montes; M. Valdés; J.M. Martinez-Val  
Título: **Energy management in solar thermal power plants with double thermal storage system and subdivided solar field.**

Revista: *Applied Energy* (ISSN: 0306-2619)

Volumen: 88-1 páginas: 4055-4066 Fecha: 01/2011

Factor de impacto JCR: 5.106

Posición de la revista en su área: 7 de 81 (Q1) en la categoría "Energy & Fuels"

- 16.** Autores: A. Rovira; C. Sanchez; M. Muñoz; M. Valdés; M. D. Durán  
Título: **Thermoeconomic optimisation of heat recovery steam generators of combined cycle gas turbine power plants considering off-design operation.**

Revista: *Energy Conversion and Management* (ISSN: 0196-8904)

Volumen: 52-1 páginas: 1840 - 1849 Fecha: 01/2011

Factor de impacto JCR: 2.216

Posición de la revista en su área: 8 de 52 (Q1) en la categoría "Thermodynamics"

- 17.** Autores: M. J. Montes; A. Abanades; J. M. Martinez-Val; M. Valdes.  
Título: **Solar multiple optimization for a solar-only thermal power plant, using oil as heat transfer fluid in the parabolic trough collectors**

Revista: *Solar Energy* (ISSN: 0038-092X)

Volumen: 83 (1) páginas: 2165 - 2176 Fecha: 01/2009

Factor de impacto JCR: 2.011

Posición de la revista en su área: 24 de 71 (Q2) en la categoría "Energy & Fuels"

18. Autores: J. Muñoz, J.M. Martínez-Val, A. Ramos.  
Título: **Thermal regimes in solar-thermal linear collectors**  
Revista: *Solar Energy* (ISSN: 0038-092X)  
Volumen: 85 (5) páginas: 857 – 870 Fecha: 2011  
Factor de impacto JCR: 2.011  
Posición de la revista en su área: 24 de 71 (Q2) en la categoría "Energy & Fuels"
19. Autores: Á. Jiménez; E. Migoya; M. Esteban; D. Giménez; J. García; A. Crespo.  
Título: **Influence of topography and wakes on wind turbulence: measurements and interpretation of results**  
Revista: *Wind Energy* (ISSN: 1095-4244)  
Volumen: 14 (7) páginas: 895 - 908 Fecha: Sep/2011  
Factor de impacto JCR: 1.768  
Posición de la revista en su área: 17 de 121 (Q1) en la categoría "Engineering, mechanical"
20. Autores: Á. Jiménez; A. Crespo, E. Migoya  
Título: **Application of a LES technique to characterize the wake deflection of a wind turbine in yaw**  
Revista: *Wind Energy* (ISSN: 1095-4244)  
Volumen: 13 (6) páginas: 559 - 572 Fecha: Dic/2009  
Factor de impacto JCR: 1.342  
Posición de la revista en su área: 24 de 116 (Q1) en la categoría "Engineering, mechanical"
21. Autores: Á. Jiménez; A. Crespo, E. Migoya, J. García  
Título: **Large-eddy simulation of spectral coherence in a wind turbine wake.**  
Revista: *Environmental Research Letters* (ISSN: 1748-9326)  
Volumen: 3 páginas: 015004-1 - 9 Fecha: 2008  
doi:10.1088/1748-9326/3/1/015004  
Factor de impacto JCR: 1.719  
Posición de la revista en su área: 70 de 163 (Q2) en la categoría "Environmental Sciences"
22. Autores: M. Escudero, Á. Jiménez, C. González, R. Nieto, I. López  
Título: **Analysis of the behaviour of biofuel-fired gas turbine power plants.**  
Revista: *Thermal Sciences* (ISSN: 0354-9836)  
Volumen: 16 (3) páginas: 849-864 Fecha: 6/2012  
DOI: 10.2298/TSCI120216131E  
Factor de impacto JCR: 0.779  
Posición de la revista en su área: 34 de 52 (Q3) en la categoría "Thermodynamics"

23. Autores: R. Nieto, C. González, I. López, Á. Jiménez  
 Título: **Efficiency of a standard gas-turbine power generation cycle running on different fuels.**  
 Revista: *International Journal of Exergy* (ISSN: 1742-8297)  
 Volumen: 9 (1)                      páginas: 112-126                      Fecha: 2011  
 DOI: 10.1504/IJEX.2011.041433  
 Factor de impacto JCR: 0.894  
 Posición de la revista en su área: 29 de 52 (Q3) en la categoría “Thermodynamics”
  
24. Autores: A. Costa, A. Crespo, J. Navarro, G. Lizcano, H. Madsen and E. Feitosa  
 Título: **A Review on the Young History of the Wind Power Short-term Prediction.**  
 Revista: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (ISSN: 1742-8297)  
 Volumen: 12 (6)                      páginas: 1725–1744                      Fecha: 8/2008  
 DOI: 10.1016/j.rser.2007.01.015  
 Factor de impacto JCR: 4.075  
 Posición de la revista en su área: 3 de 67 (Q1) en la categoría “Energy & Fuels”  
 Incluido en la lista “Most Cited Renewable & Sustainable Energy Reviews Articles 2008” de Elsevier
  
25. Autores: García J., Baraldi D., Gallego E., Beccantini A., Crespo A., Hansen O.R., Høiset, S., Kotchourko A., Makarov D., Migoya E., Molkov V., Voort M.M., Yañez J.  
 Título: **An intercomparison exercise on the capabilities of CFD models to reproduce a large-scale hydrogen deflagration in open atmosphere.**  
 Revista: *International Journal of Hydrogen Energy* (ISSN: 0360-3199)  
 Volumen: 35 (9)                      páginas: 4435–4444                      Fecha: 2010  
 D.O.I.: 10.1016/J.IJHYDENE.2010.02.011  
 Factor de impacto JCR: 4.057  
 Posición de la revista en su área: 12 de 79 (Q1) en la categoría “Energy & Fuels”

## 6.2 MECANISMOS DE CÁLCULO DE LA LABOR DE AUTORIZACIÓN Y DIRECCIÓN DE TESIS

La UPM en su “Modelo de estimación de la actividad docente de los departamentos” (URL: <https://sede-electronica.upm.es/sfs/SedeUPM/Normativa%20UPM/Actividad%20Docente.pdf>) (punto 6.2) estima la labor de dirección de tesis doctorales en dos horas semanales durante tres años, es decir, en 192 (32 semanas lectivas/año x 3 años x 2 horas/semana) horas.

En el caso de Departamentos con actividad docente distribuida en varios Centros, la actividad docente relativa a la dirección de tesis se computará en la sección departamental a la que estén adscritos los profesores directores. En el caso de las tesis codirigidas por más de un profesor, el número de horas reconocidas por esta actividad se dividirá por el número

de profesores o investigadores que la dirigen, independientemente de que todos pertenezcan o no a la UPM, asignando un número de horas proporcionales a los correspondientes Departamentos o Secciones Departamentales a los que estén adscritos los profesores de la UPM.

## 7. RECURSOS MATERIALES Y APOYO DISPONIBLE PARA LOS DOCTORANDOS.

### 7.1 JUSTIFICACIÓN DE LOS MEDIOS MATERIALES Y SERVICIOS DISPONIBLES

Los medios puestos a disposición del Programa de Doctorado son los disponibles en los Departamentos, Unidades Docentes e Instituto participantes en el mismo, que se describen seguidamente.

#### Departamento de Ingeniería Energética y Fluidomecánica:

- **Unidad docente de Termodinámica**

La unidad docente dispone de un laboratorio equipado con:

- Licencia de usuario académico del programa GTPRO con el que se realizan análisis completos de ciclos simples y combinados con ciclo Brayton.
- Programa PATITUG. Desarrollado en el Grupo de Termodinámica. Dotado de una estructura modular, permite diseñar, optimizar y analizar cualquier instalación de turbina de gas. Incorpora un tratamiento riguroso de las propiedades termodinámicas de los fluidos.
- Programa CICLOGRAF. Desarrollado en el Grupo de Termodinámica. Dotado de una estructura modular, permite diseñar, optimizar y analizar instalaciones energéticas convencionales e híbridas.

- **Unidad docente de Mecánica de Fluidos**

La unidad docente dispone de un laboratorio equipado con:

- Cámara de alta velocidad REDLAKE motion pro HS-4 capaz de medir hasta 140.000 ips.
- Ópticas zoom con montura F17 – 35 mm, F17-105 mm y F28 mm con macro.
- Sistema de anemometría láser 300 mW de una componente
- Medidor de viscosidad Rotovisco HAAKE
- Baño termostático temperatura -10 °C a 60 °C
- Túnel aerodinámico con sección de ensayo abierta de 400 mm de diámetro . Velocidad máxima 70 m/s.
- Banco de ensayo turbina Francis diámetro rodete 35 mm potencia máxima 12 kW a caudal 0,2 m<sup>3</sup>/s.
- Banco de ensayo turbina Kaplan diámetro rodete 35 mm potencia máxima 25 kW a caudal 0,5 m<sup>3</sup>/s.
- Cluster de 19 nodos + Master, cada uno de ellos con dos procesadores Intel XEON de 6 núcleos, con un total de 456GB de memoria RAM
- Licencia de usuario de Fluent 14.5 para estudios genéricos de fluidos incluyendo turbulencia, flujos multifásicos, transferencia de calor y combustión.

- Licencia de usuario de WASP 10.2 para analizar el efecto de orografías simples, rugosidad y obstáculos sobre el campo de vientos y poder diseñar un parque eólico, obteniendo su producción. Es un modelo linealizado de flujo potencial.
- Licencia de usuario del WindSim 5.1. Este programa permite hacer los mismos estudios que el WASP pero su modelo es de ecuaciones completas particularizadas a un estudio de energía eólica, por tanto puede considerar efectos de orografía más compleja.
- Licencia de usuario del WASP Engineering (WEng) 2.0. Este software es una herramienta para la estimación de vientos extremos, perfiles de viento, cortadura, inclinación de ángulos y turbulencia ambiente en terrenos de complejidad moderada.
- Licencias de usuario del programa NUMECA FINE™/Turbo 8.9 para el estudio de turbomáquinas.
- UPMORO. Programa desarrollado por el laboratorio de Mecánica de fluidos para la estimación del efecto de orografía moderada sobre el campo de vientos de un emplazamiento.
- UPMARK. Programa desarrollado por el laboratorio de Mecánica de fluidos para el estudio de estelas aisladas o las combinadas en un parque eólico.

- **Unidad docente de Motores**

La unidad docente dispone de un laboratorio equipado con:

- Bancos de pruebas de motores con potencia hasta 400 kW y par motor hasta 2000 Nm.
- Banco de pruebas dinámico y reversible para motores hasta 15 kW y 3000 rpm, automatizado con adquisición de datos por ordenador.
- Motores de investigación monocilíndrico de relación de compresión variable equipado con instrumentación electrónica de medida y registro de parámetros de funcionamiento.
- Equipos de análisis de gases portátil con medida simultánea y dinámica de caudal de escape, emisiones gaseosas de CO (NDIR), HC (FID), NO y NO<sub>2</sub> (NDUV), NO<sub>x</sub> (sonda de circonio) y masa de partículas (espectroscopia láser).
- Planta experimental a escala laboratorio para el estudio de procesos de conversión termoquímica (combustión, pirolisis, gasificación) de biomasa. Incluye sistema de cromatografía micro-GC para análisis de gases.
- Laboratorio de análisis, pre-tratamiento y caracterización de biomasa combustible, incluyendo termobalanza para estudios termogravimétricos TA Instruments SDT Q600 DSC/TGA.
- Licencias de usuario de Sima Pro 7.3 software para estudios de Análisis de Ciclo de Vida (ACV).

Actualmente se cuenta con un acuerdo de colaboración con el Departamento de Medio Ambiente del CIEMAT que dispone de equipos de medida de partículas, bancos de ensayo y analizadores de gases para medir en vehículos.

Cabe destacarse la Coordinación del Proyecto Europeo titulado “**Technical and environmental analysis of advanced strategies for the energy valorisation of biomass**” ENV-BIO (PEOPLE, Marie Curie Call: FP7-PEOPLE-2012-IRSES. MC-International Research Staff Exchange Scheme). Este proyecto supone la coordinación de una red en la que participan 10 centros de investigación de 9 países (UE, USA, Canada, China, Chile) en el área de biomasa energética y análisis ambiental. La financiación de este proyecto es de 305.000 € y su duración entre 01/01/2013 y 31/12/2016.

## Departamento de Ingeniería Nuclear

El Departamento de Ingeniería Nuclear consta de dos unidades docentes en la ETSI Industriales, de la UPM: Física Nuclear y Tecnología Nuclear, además de dos profesores en la ETSI Navales. Comparte edificio con el Instituto de Fusión Nuclear de la UPM, en el que se dispone de:

- Aula para clases teóricas con audiovisuales (cañón, proyector) con capacidad para 22 personas.
- Biblioteca – sala de reuniones – aula del Instituto de Fusión Nuclear, con capacidad para 30 personas.
- Sala – aula de ordenadores para alumnos (con 16 ordenadores personales).

La Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales tiene una biblioteca en la que el alumno podrá encontrar todo tipo de documentación relativa a las materias de sus estudios. Asimismo el Departamento completa estos recursos con los suyos relativos a sus líneas de investigación.

En los laboratorios del Departamento de Ingeniería Nuclear se dispone de los siguientes medios experimentales:

### *Laboratorio de Física Nuclear:*

1. Equipo de superconductividad
2. Equipo de medida de la resonancia de espín del electrón y del protón
3. Equipo de espectroscopía
4. Contadores Geiger-Muller
5. Multicanal para espectrografía gamma.

### *Laboratorio de Tecnología Nuclear:*

1. Fuentes de neutrones de 74 y 111 GBq
2. Bancada de irradiación neutrónica controlada mediante autómatas programables
3. Dosímetros portátiles de neutrones
4. Contenedor Howitzer para las fuentes de neutrones
5. Cuba moderadora para medida de flujos neutrónicos
6. Detectores de  $F_3B$
7. Detectores de centelleo alfa

8. Detectores de centelleo gamma
9. Detectores Geiger-Müller
10. Detectores de semiconductor para espectrometría alfa
11. Escalas de recuento y castilletes de bajo fondo
12. Estuches de diverso material absorbente
13. Fuentes radiactivas de baja actividad
14. Fuentes radiactivas calibradas de baja actividad
15. Analizadores monocanal
16. Analizadores multicanal
17. Detectores de flujo continuo de gas
18. Monitores portátiles de fluencia neutrónica
19. Monitores portátiles de partículas
20. Monitores portátiles para radiación X
21. Monitor de dosis ambiental
22. Dosímetro portátil para radiación gamma ambiental
23. Dosímetro portátil gamma con obtención de espectro e identificación de radionucleidos
24. Monitor de contaminación alfa y beta
25. Monitor de contaminación de manos y ropas
26. Equipo para la toma de muestras ambientales
27. Diverso material de blindaje (plomo, hormigón, polietileno borado, etc)
28. Fuentes de alta tensión
29. Preamplificadores, para detectores de semiconductor, de centelleo, de gas, etc
30. Racks y armarios para racks para módulos NIM
31. Diversos módulos de instrumentación nuclear (NIM)
32. Software de análisis de espectros gamma
33. Diversos paquetes de software, para análisis de transitorios y de accidentes en centrales nucleares, para el análisis de árboles de fallo, para la simulación aplicada a sistemas nucleares.

*Aula José Cabrera (Gas Natural Fenosa – UPM)*

Al terminar su periodo de operación la CN José Cabrera en abril de 2006, la empresa Unión Fenosa (actualmente Gas Natural Fenosa S.A.) donó para las instalaciones del Departamento de Ingeniería Nuclear, el Simulador Gráfico Interactivo, que era usado en la Central Nuclear, junto con el Simulador de alcance total de la Central, para el entrenamiento de sus operadores.

Esta instalación consta del Simulador Gráfico-Interactivo de la Central Nuclear José Cabrera, que está programado para la enseñanza de la Tecnología de la operación de las Centrales Nucleares. Mediante un convenio Unión-Fenosa-UPM, se realizó en el año 2008 su traslado e instalación en el edificio del Departamento de Ingeniería Nuclear, en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. En 2012 se ha procedido a actualizar el hardware y las interfaces de usuario, por lo que se encuentra en perfecto estado de utilización.

El simulador consta de un hardware (varias estaciones de trabajo gráficas, monitores, y panel de alarmas), y de un software basado en los códigos de simulación de planta de

Central Nuclear, RELAP5 y TRAC, y es utilizado para simular el comportamiento físico del núcleo y de los sistemas de un reactor nuclear de agua a presión, en situaciones operativas normales, en anomalías previsibles y en accidentes base de diseño. Es una herramienta muy utilizada por los alumnos, como herramienta de análisis de ingeniería. El simulador dispone de una gran capacidad de almacenamiento de información en forma gráfica, en tablas, y en esquemas, que permite ser procesado para generar informes de trabajo y publicaciones, así como hacer presentaciones.

Se emplea habitualmente en la realización de prácticas de los alumnos del Máster, en relación con las asignaturas de Tecnología Nuclear y Seguridad Nuclear. También es especialmente usado para la realización del Proyecto Fin del Máster, pues permite la simulación de cuantas situaciones distintas se puedan dar en la operación de una central nuclear. En el periodo doctoral, objeto de este Programa, el simulador puede emplearse para verificar hipótesis de trabajo en el área de la modelación de accidentes en reactores de agua a presión. Igualmente se podrían probar en él trabajos doctorales innovadores en el campo de la operación de centrales nucleares, fiabilidad humana, interacción hombre-máquina, etc. que son de gran importancia para la seguridad.

#### *Cátedra de Seguridad Nuclear “Federico Goded”*

Para el Programa está disponible el Convenio de la UPM con el Consejo de Seguridad Nuclear, que desde el 2004 financia becas de Proyectos fin de carrera, Proyectos fin de Master y Tesis Doctorales. También financia Seminarios y cursos especializados, impartidos por profesores nacionales y extranjeros.

Su dotación anual es de 60.000 euros.

#### **Recursos Externos y Bolsas de Viaje**

El Programa de Doctorado requiere financiación adecuada para su correcto funcionamiento, incluyendo becas, ayudas de movilidad y financiación para la asistencia a congresos y reuniones internacionales.

Para ello, en primer lugar se incentivará la movilidad mediante la realización de estancias cortas de investigación en centros extranjeros con los que mantenemos colaboraciones científicas.

En general hay tres tipos de fuentes principales de financiación que la Comisión Académica del Programa de Doctorado se compromete a utilizar para financiar el programa:

1. Convocatorias dirigidas a los propios doctorandos. En este tipo de convocatorias los responsables de la obtención de recursos son fundamentalmente los doctorandos. De este tipo encontramos numerosas convocatorias:
  - a. Convocatorias nacionales de movilidad.
  - b. Convocatorias de movilidad de la UPM. El programa propio de la UPM de ayudas a la movilidad mediante la concesión de ayudas para estancias breves en España y en el extranjero para los beneficiarios de los programas predoctorales oficiales de formación de investigadores y para el Personal Investigador de Apoyo de la

Comunidad de Madrid:  
([http://www.upm.es/institucional/Investigadores/Movilidad/Programa\\_Propio/Convocatorias\\_abiertas](http://www.upm.es/institucional/Investigadores/Movilidad/Programa_Propio/Convocatorias_abiertas)).

- c. Bolsas de viaje que convoca la propia Universidad:  
(<http://www.upm.es/institucional/Estudiante/BecasAyudasPremios/Bolsa+de+viaje>)
  - d. Ayudas del Consejo Social de la UPM para el fomento de la Internacionalización de doctorados: <http://www.upm.es/sfs/Rectorado/Organos%20de%20Gobierno/Consejo%20Social/Actividades/Ayudas/XI%20CONVOCATORIA%20DE%20AYUDAS%20DEL%20CURSO%202012.pdf>
  - e. Convocatorias nacionales de becas de doctorado (FPI, FPU).
  - f. Convocatorias autonómicas de becas de doctorado.
  - g. Convocatoria de becas de doctorado de la UPM.
  - h. Convocatorias de becas de doctorado para alumnos extranjeros concedidas por las agencias de países con los que se mantiene relación académica.
  - i. Ayudas de la UPM para asistencia a congresos internacionales.
2. Convocatorias dirigidas a los grupos de investigación. En este tipo de convocatorias los responsables de la obtención de recursos son los Grupos de Investigación que dan soporte al programa. De este tipo encontramos numerosas convocatorias:
- a. Financiación de los propios grupos de investigación participantes en la propuesta, derivada de proyectos de investigación públicos o en colaboración con empresas.
    - i. Convocatorias de proyectos del Programa Marco europeo.
    - ii. Convocatorias de proyectos del Plan Nacional de I+D+i.
    - iii. Convocatorias de proyectos del Consejo de Seguridad Nuclear.
    - iv. Convocatorias autonómicas de proyectos de investigación.

Estos proyectos pueden financiar la movilidad, las asistencias a congresos y, en algunos casos, becas de doctorado.

3. Convocatorias dirigidas a los programas de doctorado. En este tipo de convocatorias el responsable de la obtención de recursos es el propio Programa de Doctorado.

Estos recursos tienen como objetivo la consecución de la Mención Europea o la Mención Internacional de Doctorado.

Además, el Departamento de Ingeniería Nuclear tiene la posibilidad de conceder becas para Doctorado (2 o 3), en el ámbito de los siguientes acuerdos que coordina:

- Cátedra de Seguridad Nuclear “Federico Goded”, con el CSN
- Aula José Cabrera de Unión-Fenosa—UPM

## **Medios para la inserción laboral de los egresados**

Para la adecuada inserción laboral de los egresados del Programa, la UPM dispone del Centro de Orientación, Información y Empleo (COIE), para comunicar y orientar a sus estudiantes en su inserción al mercado laboral, que es muy utilizado por los estudiantes de todas las titulaciones

## 8. REVISIÓN, MEJORA Y RESULTADOS DEL PROGRAMA

### 8.1. SISTEMA DE GARANTÍA DE CALIDAD Y ESTIMACIÓN DE VALORES CUANTITATIVOS

La Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid ha establecido un Sistema Interno de Garantía de Calidad (SIGC) para propiciar la mejora continua en las titulaciones que se imparten en el Centro, permitiendo un nivel de calidad que facilite su acreditación y el mantenimiento de la misma.

El sistema SGIC se ha diseñado siguiendo la propuesta del programa AUDIT de la Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad (ANECA), y ha sido verificado por esta Agencia y evaluado positivamente.

No obstante, y dado que se trata de un sistema dinámico, y en el que se han previsto mecanismos de revisión continua y actualización para garantizar la mejora del mismo, se irá adecuando a las necesidades de las nuevas titulaciones y de las adaptaciones de las titulaciones anteriores.

En este apartado se incluyen únicamente los aspectos del sistema de garantía de la calidad que son responsabilidad del Programa de Doctorado.

#### **Responsables del sistema de garantía de calidad del Programa de Doctorado**

El órgano responsable del sistema de calidad del Programa de Doctorado es la Comisión Académica del Programa de Doctorado (CAPD). La CAPD se responsabiliza de todo lo previsto en la normativa vigente sobre elaboración, autorización y defensa de la tesis doctoral.

Para gestionar de manera más eficaz la realización de las tareas orientadas a garantizar la calidad del programa, se ha definido una Subcomisión de Seguimiento del Sistema Interno de Garantía de Calidad (SIGC), aplicado a este Programa de Doctorado (CSP). Esta Subcomisión estará formada por cinco miembros: el Presidente y el Secretario de la CAPD, dos profesores doctores del programa con experiencia en garantía de calidad –uno por cada línea de investigación– un representante de los doctorandos y otro del personal de apoyo (técnicos pertenecientes a los Departamentos implicados). Las decisiones de esta Subcomisión deberán ser ratificadas por la CAPD.

La misión de la Subcomisión será la de elaborar un SIGC del Programa de Doctorado. Así mismo, será responsable de:

- Asegurar que las tesis propuestas para defensa cumplan los indicios de calidad de definidos en la memoria de verificación y desarrollados en el SIGC.
- Realizar un seguimiento de las diferentes actividades relacionadas con el Programa de Doctorado y emitir los informes oportunos para consideración de la Comisión Académica del Programa de Doctorado. Dicho seguimiento se refiere:
  - Al proceso de acreditación del título y su mantenimiento ante las diferentes Agencias de Calidad (ANECA, ACAP, etc).

- Al proceso de obtención y mantenimiento de las diferentes acreditaciones (mención hacia la excelencia u otras de futura aparición).
  - A la recopilación, almacenamiento y gestión de los datos relativos a los indicadores necesarios para realizar el seguimiento del programa.
- Realizar un seguimiento de los doctores egresados del programa.
  - La realización de las encuestas de satisfacción a los doctorandos y al profesorado del programa.
  - La gestión de quejas y reclamaciones.
  - La redacción de un informe anual de situación (tasas, indicadores de satisfacción de docencia, etc.) y la definición de propuestas de mejora.

### **Mecanismos de supervisión del Programa**

La Subcomisión de Seguimiento se responsabilizará de realizar los procedimientos de recogida y análisis de información, del diagnóstico, evaluación e identificación de las fortalezas y debilidades del programa, y de la toma de decisiones para la definición y puesta en marcha de las correspondientes acciones de mejora de la calidad del Programa de doctorado. Estas evaluaciones deberán ser regulares y sistemáticas para permitir el análisis de posibles desviaciones respecto a lo planificado, así como la detección de las posibles áreas de mejora.

El objetivo que el equipo de calidad plantea como mecanismo de supervisión es medir la calidad percibida por los usuarios del Programa de doctorado, principalmente doctorandos, egresados, centros de investigación que proporcionan alumnos o los recogen, profesores y responsables de doctorado del Programa, del Centro y de la Universidad.

### **Procedimientos para la valoración (obtención de datos)**

Una vez constituida, la Subcomisión deberá elaborar los procedimientos que aseguren la calidad de las actuaciones de movilidad, así como aportar los procedimientos y mecanismos destinados a publicar la información sobre el programa, su desarrollo y sus resultados.

Las fuentes de información con las que se valorará la calidad del Programa de doctorado serán los doctorandos (actuales y egresados), los profesores, y entidades externas relacionadas con el programa. La definición de los indicadores de calidad que se reflejen en los diferentes tipos de encuestas, se habrán de realizar teniendo en cuenta los objetivos establecidos para este Programa.

### **Opinión de los alumnos**

Para recabar la opinión de los alumnos se dispone de dos tipos de encuesta, cuyos indicadores se han seleccionado teniendo en cuenta los objetivos definidos para este Programa de doctorado:

- Una encuesta sobre la calidad de diferentes aspectos del programa (objetivos, estructura, contenidos, actualidad, interés, medios, etc.) susceptibles de mejora.

- Una encuesta sobre los profesores, tutores y directores (conocimiento, calidad investigadora, capacidad motivadora, medios utilizados, coordinación, etc.).

Para facilitar la recogida de información y su procesamiento, los diferentes tipos de encuesta se pondrán a disposición de sus destinatarios en la web del programa de doctorado, aunque sólo se activarán en el periodo de recogida de datos, convenientemente anunciado, garantizándose el anonimato y una sola encuesta por persona.

Además de la información directamente solicitada a los alumnos a través de encuestas, el programa de doctorado pondrá a disposición de los alumnos, a través de su página web, mecanismos de atención a consultas, sugerencias y reclamaciones, atendidas, según el contexto, por la secretaría del programa de doctorado, por los profesores, o por la Comisión Docente del Departamento correspondiente. Los alumnos tienen además a su disposición en el servidor *moodle* o Aula-Web (según el caso) foros de discusión y blogs donde pueden debatir y comentar asuntos de interés común.

### **Valoración y evaluación del profesorado**

La opinión de los profesores se recoge con un cuarto tipo de encuesta para medir su grado de satisfacción sobre el programa. Además, la evaluación del profesorado se complementa con la recogida anual de resultados de la actividad investigadora de los profesores para medir la calidad media y detectar puntos de mejora

### **Criterios y procedimientos de actualización y mejora del programa**

Para realizar las actividades encaminadas a garantizar la calidad del programa, la Subcomisión de Seguimiento del programa de doctorado mantendrá reuniones periódicas al menos en dos ocasiones por cada curso académico: una antes de comenzar el curso para fijar la planificación y los criterios de valoración y otra al finalizar el curso para preparar la elaboración del informe de evaluación de resultados con indicación de los puntos fuertes y débiles detectados y un plan estratégico de mejora a aplicar para el curso siguiente. La Subcomisión tendrá en cuenta los datos recabados por las encuestas de opinión de los alumnos, los criterios de valoración y evaluación del profesorado y el seguimiento de doctores egresados.

### **Mecanismos de transparencia**

Para asegurar la transparencia y la rendición de cuentas a los agentes interesados, se publicará en la web del Programa de Doctorado toda la información recogida para la evaluación de la calidad, así como las actas de las reuniones de la Subcomisión de Seguimiento y los acuerdos tomados en ella, y los informes de seguimiento en los que se describan los datos recogidos, el análisis realizado, las debilidades y fortalezas detectadas y las acciones de mejora propuestas. Los informes incluirán también el seguimiento realizado de las acciones de mejora que fueron propuestas en anteriores evaluaciones.

### **Criterios de suspensión del programa de doctorado.**

Se aplicarán los criterios establecidos por la UPM.

### **Información adicional sobre el Programa y sus cursos**

El Programa de doctorado mantendrá un sitio web, actualizado cada curso académico, con información detallada sobre el programa (objetivos, líneas de investigación, organización, normativas aplicables al programa, plan de calidad, etc.), sobre los profesores, y de forma más dinámica sobre las actividades de formación y especialmente sobre los Seminarios de Investigación. Desde la página web estarán accesibles también las publicaciones de los alumnos de doctorado.

Las actividades de formación contarán además con un espacio en el entorno de gestión de cursos *Moodle* o *Aula-Web*, en el que se pondrá a disposición de los alumnos toda la información relevante para la actividad, facilidades para entrega de resúmenes de actividad, foros de discusión, etc.

## ESTIMACIÓN DE VALORES CUANTITATIVOS

**Tasa de graduación:** 60%

**Tasa de abandono:** 25%

**Tasa de eficiencia:** 70%

Las tasas de graduación, abandono y eficiencia se han establecido tomando como periodo tipo para la graduación tres años, si bien en el programa activo hasta la fecha, al incluir docencia, el periodo típico de graduación ha sido de cuatro años. Consecuentemente, unas y otras cifras no son directamente comparables.

La estimación para la fijación de las tasas anteriormente indicadas se ha realizado en función de la experiencia en el programas de doctorado “Ciencia y Tecnología Nuclear” del que somete a verificación es heredero para su línea 1. En el epígrafe 8.3 de esta memoria se indica el número de estudiantes matriculados, así como el número de tesis leídas en los últimos cinco años dentro del citado programa.

---

A continuación se indica la manera en que se han definido las tasas anteriormente aludidas, ya que si bien son estándar para los estudios de grado y máster, necesitan de alguna precisión en los estudios de doctorado no estructurados en créditos ECTS.

- **Tasa de graduación:** relación porcentual entre el alumnado de una cohorte de entrada C que superan, en el tiempo previsto más un año, los requisitos académicos para la obtención del título de Doctor, y el total del alumnado de nuevo ingreso de la misma cohorte C en dicho título.
- **Tasa de abandono:** relación porcentual entre el alumnado de una cohorte de entrada C matriculados en el Programa en el curso académico X, que no se han matriculado en dicho Programa en los cursos X+1 y X+2, y el número total de estudiantes de tal cohorte de entrada C que accedieron al mencionado Título T el curso académico X.
- **Tasa de eficiencia:** relación porcentual entre la actividad prevista que debieron realizar los estudiantes graduados de una cohorte de graduación G en un curso académico para obtener el título de Doctor y la actividad efectiva que ha realizado el alumnado graduado de una cohorte de graduación G. Esta tasa tiene una mayor dificultad de computo al no estar estructurado el Programa de Doctorado en créditos.

## 8.2. SEGUIMIENTO DE DOCTORES EGRESADOS

El procedimiento de seguimiento de doctores egresados se realizará en colaboración con los profesores del programa. Cada uno de los profesores debe supervisar e informar de la situación laboral del alumno egresado en, al menos, los 5 años siguientes a la defensa de la tesis doctoral. La información que debe recoger es la siguiente:

- Posición del alumno egresado: empresa y posición dentro de la empresa
- Ciudad y País donde está localizado su puesto de trabajo.

Adicionalmente a esta información se diseñará un breve cuestionario en el que se pregunte al alumno el grado de similitud entre la temática de tesis y su labor profesional. Además, será interesante conocer las posibilidades adicionales que ha tenido gracias a los estudios de doctorado cursados.

Anualmente, en el primer trimestre, se realizará esa encuesta a alumnos egresados para recabar su opinión con la perspectiva del tiempo y obtener información referente a la repercusión de los estudios cursados en el ámbito laboral y formativo de los estudiantes, conocer su grado de satisfacción sobre el programa y detectar los puntos fuertes/débiles del mismo respecto al programa de formación. Puesto que tradicionalmente resulta difícil conseguir que los egresados respondan a las encuestas, para motivar a los doctores egresados del programa a que rellenen las encuestas, y de paso facilitar la recogida de información y su procesamiento, se han diseñado encuestas accesibles a través de la web del programa de doctorado, garantizándose el anonimato y una sola encuesta por persona.

También se desarrollará un procedimiento para el seguimiento de sus egresados, basado en la difusión del Programa a través de la web 2.0, destacando el uso de redes sociales profesionales, como es el caso de LinkedIn; donde se creará un apartado específico para antiguos alumnos sobre ofertas de becas y empleo, y sobre cualquier otra información que pueda interesar a los egresados. Para aquellos alumnos que no tengan presencia en la web 2.0 se utilizará un sistema más tradicional de correo directo, mediante correos electrónicos personalizados, en donde se muestran los beneficios y ventajas de seguir relacionados con el Programa de Doctorado.

A partir de la experiencia histórica y de las relaciones con diferentes organismos y entidades de investigación descritas en el apartado se estima que al menos un 40% de los doctorandos podrían conseguir ayudas para contratos post-doctorales. El 60% restante, conforme a la tendencia del sector de la ingeniería de la energía en general es esperable que encuentren un empleo acorde a su formación en un plazo inferior a 6 meses. Ese es el caso, por ejemplo de los doctorados del Programa “Ciencia y Tecnología Nuclear” de los últimos 5 años.

## 8.3. DATOS RELATIVOS A LOS RESULTADOS DE LOS ÚLTIMOS 5 AÑOS Y PREVISIÓN DE RESULTADOS DEL PROGRAMA

En el Programa de Doctorado en Ciencia y Tecnología Nuclear, del que la línea 1 de este es heredera, en los últimos cinco años, desde el curso académico 2008-2009, se han leído 9 Tesis doctorales. Del análisis del tiempo transcurrido en cada uno de los casos desde la inscripción del alumno hasta la lectura de la tesis, se concluyen las siguientes tasas de éxito en 3, 4 o más años:

- Tasa de éxito (lectura de la tesis en 3 años a partir de la inscripción): 40%
- Tasa de éxito (lectura de la tesis en 4 años o menos a partir de la inscripción): 80%
- Tasa de éxito (lectura de la tesis en cualquier periodo de años a partir de la inscripción): 85%
- Tasa de abandono (sin leer la tesis ni renovar la matrícula en 2 años consecutivos): 15%

Dadas las exigencias requeridas a los alumnos que quieren entrar en el programa y el control de su trabajo cada curso académico que actualmente se realiza, se prevén unos resultados similares en los próximos años, con aumento de las tasas de éxito en 3 años, reduciéndose previsiblemente el periodo total de realización de la tesis.

Todas las tesis leídas en el Programa de Doctorado “Ciencia y Tecnología Nuclear” han contado previamente al menos con una publicación en revistas indexadas de calidad (JCR o similares). En media, la relación es de 2 artículos por tesis defendida.

Para este nuevo Programa de Doctorado en Energía Sostenible Nuclear y Renovable, se aplicarán los requisitos previstos en el Modelo de Doctorado aprobado por la UPM. Según eso, como mínimo se cumplirán los siguientes índices:

1. Número de tesis defendidas. El programa se compromete a defender al menos 5 tesis cada 3 años a partir del cuarto año de su creación.
2. Productividad de las tesis. Para que una tesis doctoral pueda ser admitida a trámite de lectura deberá contar con resultados publicados en revistas de reconocido prestigio en su especialidad e incluidas en el catálogo Journal Citation Reports o equivalentes, o con la existencia de patentes en explotación demostrada mediante contrato de compraventa o contrato de licencia.
3. En cada periodo de 5 años considerado, la ratio entre las tesis leídas y los alumnos matriculados en el programa es mayor que 0,6 a partir del cuarto año de su creación.