

## 2.1 Justificación, adecuación de la propuesta y procedimientos

El Título del Máster Universitario en Energía Solar Fotovoltaica (MUESFV) surge por iniciativa del Instituto de Energía Solar/Departamento de Electrónica-Física (**actualmente, Electrónica Física, Ingeniería Eléctrica y Física Aplicada**) de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación (ETSIT), de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Se aprobó en 2006 según orden 684 de 14 de febrero de la Comunidad de Madrid, con una estructura de dos cursos y 120 ECTS, y se transformó en un único curso de 60 ECTS a partir del curso 2010-2011 con la aprobación por parte de la Agencia Nacional de Acreditación del nuevo plan de estudios. Es una iniciativa de formación de máster orientada a formar expertos en todos los ámbitos relacionados con la Energía Solar Fotovoltaica. Se trata de un Programa cuyos inicios se remontan a 1997, que ha producido 78 doctores egresados, que contó con la Mención de Calidad a Programas de Doctorado del Ministerio de Educación y Ciencia (ref MCD2005-00354).

La formación de expertos de alto nivel en el campo de la Energía Solar Fotovoltaica está plenamente justificada por tres razones esenciales:

- La demanda social existente en el desarrollo de las energías renovables, y más concretamente, de Energía Solar Fotovoltaica.
- La demanda del sector fotovoltaico de profesionales cualificados para departamentos de I+D y de producción.
- El mantenimiento y desarrollo del potencial científico nacional en este campo de investigación.

### **Interés y relevancia académica-científica-profesional:**

La demanda social de energías alternativas es un hecho incontestable en los países desarrollados. La principal consecuencia de esta demanda ha sido la adquisición de compromisos políticos, en forma de tratados y protocolos, que formalizan la obligación de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, a través de una disminución del consumo de combustibles fósiles. Obviamente, dicha reducción ha de venir acompañada por la implantación y desarrollo de fuentes alternativas de energía (las llamadas renovables), para garantizar así el sostenimiento de la actividad económica, el bienestar ciudadano y la capacidad de desarrollo de las economías más atrasadas. Por ejemplo, la Unión Europea en su reunión del 9 de marzo de 2007, estableció el compromiso de que las energías renovables representen el 20% del consumo bruto de energía primaria en toda la Unión para el año 2020. Recientemente dichos objetivos se han extendido a un 27% de generación renovable de energía para el año 2030. Parece claro que semejante desarrollo no podrá realizarse sin una sólida inversión en capital humano que desarrolle, implante, innove e impulse este sector. En el contexto de las Energías Renovables, destaca la Energía Solar Fotovoltaica por las grandes ventajas que presenta asociadas a su robustez, modularidad, sencillez de aplicación y amplia y regular distribución del recurso base (la radiación solar) sobre todo en países de sur de Europa como España.

El aprovechamiento de estas ventajas propició un crecimiento espectacular de las instalaciones fotovoltaicas de un 300% en 2008, que hizo de España el primer país del mundo en instalaciones fotovoltaicas nuevas en ese año. En la actualidad, la potencia eléctrica instalada en España de origen fotovoltaico es superior al 3% del total. Semejante tasa de crecimiento en un sector en continua innovación ha generado una continua demanda de expertos cualificados, Existen grupos activos tanto en el mundo universitario (Madrid, Bilbao, Barcelona, Jaén, Málaga; Cádiz) como en otros organismos públicos de investigación (CIEMAT, INTA, ITER, CENER). En consecuencia, hoy por hoy, la investigación fotovoltaica en España es intensa y de primer nivel europeo, como lo demuestra la elevada presencia de comunicaciones nacionales en las revistas y congresos especializados. Por citar un ejemplo, España lleva siendo el segundo país (sólo superado por Alemania) en cuanto a número de comunicaciones y ponentes en los últimos congresos Europeos de Energía Solar Fotovoltaica (Barcelona'97, Glasgow'00, Munich'01, Paris'04, Barcelona'05, Dresde'06, Milán'07). Parece claro que el mantenimiento de esta gran actividad científica pasa por una continua producción de doctores y profesionales cualificados que sirva a las universidades y empresas para nutrirse de expertos que puedan dinamizar o, incluso, iniciar actividades de investigación en este terreno.

El IES/UPM ha sido y es sin duda un referente de la energía fotovoltaica a nivel mundial, también en el ámbito de la formación, en especial la formación de doctores en este campo.. Dicho papel está muy ligado, por un lado, a su apuesta por dotar al sector de herramientas innovadoras para el diseño, implementación y caracterización de instalaciones fotovoltaicas, y por otro por investigar en conceptos de alta capacidad de aprendizaje, en particular los sistemas de muy alta concentración con células multiunión y otras opciones como el termofotovoltaico o más allá, con los materiales de banda intermedia, que ya han suscitado un elevado interés científico internacional.

### **Equivalencia en el contexto internacional**

Existen programas de doctorado, máster y grado (caso específico de UNSW) equivalentes en Europa, EE.UU. Japón y Australia. Entre ellos cabe citar los de las siguientes instituciones:

- Imperial College (Londres, Reino Unido)
- Instituto Fraunhofer para los Sistemas de Energía Solar (Friburgo, Alemania)
- Escuela Politécnica Federal de Lausana (Lausana, Suiza)
- Universidad de Nueva Gales del Sur (Sydney, Australia)
- Universidad de Tokio para la Tecnología y la Agricultura (Tokio, Japón)

### **Orientación:**

El Máster recoge parte de la temática y estructura del doctorado de “Energía Solar Fotovoltaica” (R.D.778/1997), con Mención de Calidad desde el curso 2005-2006 (MCD2005-00354), y parte de los contenidos de la versión previa del máster de dos años y añade los saberes necesarios para los profesionales del sector. Está orientado a formar expertos en todos los ámbitos relacionados con la Energía Solar Fotovoltaica. La orientación profesional-investigación permitirá a los alumnos incorporarse tanto al sector profesional como al investigador.

El Máster dará una visión unificada y multi-disciplinar del conjunto de tecnologías y conocimientos claves de la Energía Solar Fotovoltaica así como de los ámbitos de aplicación de los mismos.

Con más concreción se persigue:

- Proporcionar al alumno una visión general del estado del arte de las nuevas tecnologías que sean relevantes para el campo de la Energía Solar Fotovoltaica.
- Proporcionar una base específica y metodológica para realizar labores profesionales y de investigación, desarrollo e ingeniería en el área de de la Energía Solar Fotovoltaica, tanto en el ámbito profesional como en el académico.
- Facilitar los fundamentos para la realización posterior de una Tesis Doctoral procurando el contacto con los grupos de investigación del Instituto de Energía Solar y fomentando las estancias en grupos de investigación de otros centros europeos e internacionales con los que se mantiene colaboración a través de distintos proyectos de I+D+i.

Todo ello con el objetivo último de preparar a los alumnos para la incorporación al sector fotovoltaico, o para que puedan abordar una posterior etapa de Estudios de Doctorado. La dilatada experiencia del Instituto de Energía Solar y Dpto. de Electrónica-Física (**Electrónica Física, Ingeniería Eléctrica y Física Aplicada en la actualidad**) en la investigación, diseño y aplicación de la Energía Solar Fotovoltaica avala la calidad e interés de estos estudios.

### **Perfil de egreso**

Este Máster va dirigido a **graduados**, licenciados, ingenieros superiores y arquitectos con una sólida formación en ciencia y tecnología, preferiblemente a aquéllos con un **graduado** en ingeniería, física o química. En ocasiones excepcionales, se valorarán casos de candidatos con otras titulaciones que cumplan con los requisitos de conocimientos de base exigidos.

Este Máster preparará expertos que sean capaces de analizar, diseñar, implementar, evaluar, y optimizar sistemas fotovoltaicos complejos e innovadores orientados a la aplicación de la Energía Solar Fotovoltaica. Estos expertos estarán dotados de las competencias y habilidades necesarias para el aprendizaje autónomo, y para la realización de contribuciones significativas a nivel internacional, que extiendan la frontera del conocimiento en algunas de las tecnologías relacionadas con la Energía Solar Fotovoltaica.

### **Objetivos**

El fin último y primordial del Programa del Máster es la formación científica, técnica y profesional, teórica y experimental, de expertos del máximo nivel en las diferentes disciplinas y saberes en los que se apoya la Energía Solar Fotovoltaica. Asimismo, y como parte indisociable a lo puramente cognitivo, se pretende desarrollar en los alumnos las habilidades de comunicación, expresión e innovación, imprescindibles para el desarrollo de una labor de calidad, bien sea en la industria o bien en el entorno académico.

Sin pretender una enumeración exhaustiva, entre las áreas científicas y tecnológicas que centran los objetivos, en cuanto a educación formal, de la actividad del Programa se encuentran:

- La física y tecnología de semiconductores y dispositivos fotovoltaicos
- Los sistemas fotovoltaicos: su diseño, su construcción, su análisis y su caracterización
- Las técnicas electrónicas de acondicionamiento y control de potencia

- La instrumentación electrónica y la informática aplicadas a máquinas o sistemas de interés en energía solar
- La terminología aplicada a la energía solar
- El estudio de la radiación solar
- La óptica específica para el aprovechamiento de radiación solar
- La integración de la ESF en las redes de distribución de energía eléctrica
- Los fundamentos sociales para la Energía Solar: la estructura energética de la sociedad actual; los problemas medioambientales y de abastecimiento energético
- El papel de las energías renovables en general y solar fotovoltaica en particular en el contexto energético actual y futuro
- El marco legislativo de la distribución energética y el régimen especial de la electricidad

La lista enumerada constituye el corazón de los objetivos en cuanto conocimiento formal del programa. Cada una de las materias que constituyen la estructura del programa incluye una serie de objetivos que pueden consultarse en las tablas correspondientes.

No obstante, en el área de la Energía Solar Fotovoltaica, debido a su vertiginoso crecimiento, se hacen realidad los tópicos asociados a nuevas ciencias, a saber, la rápida evolución de técnicas y métodos, cuando no la aparición continua de novedades rápidamente absorbidas. Por lo tanto, entre los objetivos no cognitivos del máster se da una especial relevancia al fomento de destrezas imprescindibles en la labor científica moderna tales como son las capacidades de comunicación y expresión, y la capacidad de innovación. En un campo de evolución tan rápida, como es la Energía Solar Fotovoltaica, además de capacidad de innovación y aprendizaje, un experto debe tener la capacidad de transmitir sus ideas de forma rápida, clara y rica, en multitud de foros y contextos (industriales, académicos, científicos e, incluso, políticos y sociales). Un importante porcentaje del esfuerzo formativo del Programa se dedica, precisamente, al desarrollo de esas capacidades, existiendo una materia, llamada "Seminario de actualidad fotovoltaica" específicamente dedicada a ello.

Finalmente, cabe señalar que también figura entre los objetivos del Máster constituirse en un vehículo de difusión internacional de la "Energía Solar Fotovoltaica" y de instrumento para cooperación en esta área. La presencia constante y creciente de estudiantes procedentes de otros ámbitos geográficos, que incluyen Europa, Iberoamérica y los Países Árabes, supone una contribución, nacida de la Universidad pública, a la cooperación europea y al desarrollo de los países empobrecidos. Los más de 30 años de historia del Programa de Doctorado, origen de éste Máster, nos han enseñado que la inmensa mayoría de los doctores extranjeros formados en el IES-UPM han acabado desarrollando su actividad profesional en sus países de origen, constituyendo así nuevos focos de desarrollo de la Energía Solar Fotovoltaica.

El Máster Universitario en Energía Solar Fotovoltaica (MUESFV) proporciona por tanto el camino idóneo para el desarrollo de una actividad con futuro que se encuentra en pleno crecimiento, sentando las bases de un proceso permanente de aprendizaje ("aprender a aprender").

Se ofrece, por tanto, una preparación de calidad para formar expertos con una alta capacidad y competencia en sus áreas de I+D+i de las temáticas relacionadas con la Energía Solar Fotovoltaica a nivel internacional, y así lograr la adecuada integración de nuestra Universidad en el Espacio Europeo de Educación Superior.

La integración de profesorado y colaboradores de otros centros nacionales y europeos, unida a la experiencia del Instituto de Energía Solar y Dpto. de Electrónica-Física (actualmente, Electrónica Física, Ingeniería Eléctrica y Física

Aplicada) en la impartición de programas doctorado y posgrado, así como su intensa actividad investigadora, son garantías que avalan la consecución de los objetivos planteados.

## **Referentes externos que avalen la adecuación de la propuesta a criterios nacionales o internacionales para títulos de similares características académicas**

Como se ha mencionado previamente, existen programas de doctorado, máster y grado (caso específico de UNSW) equivalentes en Europa, EE.UU. Japón y Australia:

- Imperial College (Londres, Reino Unido)
- Instituto Fraunhofer para los Sistemas de Energía Solar (Friburgo, Alemania)
- Escuela Politécnica Federal de Lausana (Lausana, Suiza)
- Universidad de Nueva Gales del Sur (Sydney, Australia)
- Universidad de Tokio para la Tecnología y la Agricultura (Tokio, Japón)

Relacionados específicamente con las temáticas de investigación particulares que se abordan en el Máster en Energía Solar Fotovoltaica, también se han considerado los marcos de referencia utilizados a la hora de diseñar las competencias (apartado 3.2).

## **Descripción de los procedimientos de consulta internos utilizados para la elaboración del plan de estudios**

Como se ha indicado anteriormente, el nuevo título recoge parte de la temática y la estructura de un título aprobado en 2006 y puesto marcha en el curso 2008-09. Además, es la adaptación al RD 56/2005 del programa de doctorado de Energía Solar Fotovoltaica conforme al RD 778/1997 que obtuvo la Mención de Calidad en 2005 (MCD2005-00354) y que ha sido renovada hasta la actualidad. Para la elaboración del plan de estudios de doctorado RD 778/1997 y para su posterior transformación al RD 56/2005 se realizaron consultas con todos los órganos competentes del centro (Comisión de Ordenación Académica de Posgrado, Junta de Escuela) y de la Universidad, con cuya aprobación, por otra parte obligatoria, se contó.

Adicionalmente, la elaboración de la memoria original del Máster fue encomendada a la CGEM (Comisión Gestora de Estudios de Máster) del Dpto. de Electrónica Física.

Dentro de la Universidad Politécnica de Madrid, el programa de posgrado del Instituto de Energía Solar/Departamento de Electrónica Física, Ingeniería Eléctrica y Física Aplicada cuenta con numerosos acuerdos de colaboración y apoyo, como son:

- Convenio de colaboración entre la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación y la Escuela Técnica Superior de Ingenieros y Sistemas de Telecomunicación, ambas de la Universidad Politécnica de Madrid.
- Convenio de colaboración con el Departamento de Tecnología Fotónica y Bioingeniería de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Madrid.
- Convenio de colaboración con el Departamento de Ingeniería Electrónica de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Madrid.

- Convenio de colaboración con el Departamento de Tecnología Electrónica de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Madrid.

Finalmente, se cuenta con el apoyo de otras instituciones públicas y privadas interesadas en la colaboración y en la empleabilidad de los egresados (ver apartado siguiente).

## **Descripción de los procedimientos de consulta externos utilizados para la elaboración del plan de estudios**

Para la elaboración de la memoria original del Máster se realizaron múltiples consultas que se materializaron en la firma de una serie de acuerdos y convenios de colaboración (se adjuntan en el anexo II). Entre ellos cabe destacar:

- Convenio de Apoyo y Colaboración con el Programa de Doctorado "*Energía Solar Fotovoltaica*" suscrito entre la Universidad Politécnica de Madrid y la Asociación Nacional de la Industria Fotovoltaica (ASIF).
- Convenio de Colaboración con el Programa de Doctorado "*Energía Solar Fotovoltaica*", suscrito entre la Universidad Politécnica de Madrid y el Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación.
- Convenio de Apoyo y Colaboración con el Programa de Doctorado "*Energía Solar Fotovoltaica*" suscrito entre la Universidad Politécnica de Madrid y la compañía ISOFOTÓN S.A.
- Declaración de Apoyo de la compañía VODAFONE ESPAÑA con el Programa de Doctorado "*Energía Solar Fotovoltaica*", a través de la Cátedra Vodafone de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación.
- Convenio de Apoyo al Programa de Doctorado "*Energía Solar Fotovoltaica*" suscrito entre la Universidad Politécnica de Madrid y la Universidad Nacional de Educación a Distancia.