

## 2. JUSTIFICACIÓN

### 2.1 Justificación del título propuesto, argumentando el interés académico, científico o profesional del mismo

La automática y el control automático juegan un papel básico en los progresos industriales y tecnológicos. Se encuentran en el desarrollo de los satélites de comunicaciones y de los viajes espaciales, en el diseño de vehículos de transporte (coches, trenes, aviones y barcos) más seguros y eficientes, en los sistemas de comunicación, incluyendo los sistemas de telefonía, los teléfonos celulares y también internet, en el desarrollo de procesos químicos y de generación de energía más limpia y eficiente, en la automatización de la industria manufacturera, en el desarrollo de robots y de máquinas inteligentes, y en gran parte de los aparatos e instrumentación médicos y científicos más modernos.

#### 2.1.1 Interés académico

La teoría del control es una rama interdisciplinaria de la ingeniería y de las matemáticas, que trata con sistemas dinámicos y que depende y comparte herramientas con la física (dinámica y modelado de sistemas), los computadores (información y software), la investigación operativa (optimización y teoría de juegos) y la inteligencia artificial, de las cuales se extraen herramientas y metodologías que permiten ir ampliando las posibilidades del control. Pero a su vez tiene la característica de una ingeniería ya que pretende diseñar y construir sistemas que tengan un comportamiento predecible, en un afán de conseguir de manera constante mejorar la calidad de vida de las personas.

Como se verá en el punto 2.2 la mayoría de las mejores universidades del mundo que imparten grados de ingeniería tienen grados de ingeniería de control o similares. En España hay más de 15 universidades que ofertan Másteres con contenidos iguales o próximos. No obstante, una cualidad claramente diferenciadora de éste es apoyarse de manera básica en una metodología de enseñanza a distancia, en la que los grupos que la imparten tienen una experiencia contrastada a nivel tanto nacional como internacional. La creación de laboratorios virtuales y remotos la viene desarrollando el Departamento de Informática y Automática de la UNED desde hace años y es uno de los grupos de liderazgo mundial en esta actividad. Esta actividad también se está desarrollando en el grupo de la UCM. Esto permite que el Máster contenga una oferta de prácticas igual o superior a los otros Másteres sin por ello hacer imprescindible la presencia real de los alumnos en el laboratorio.

Existe una demanda creciente de formación en nuestras universidades de estudiantes procedentes de Iberoamérica, propiciada entre otras por la identidad cultural y la facilidad del idioma. Aproximadamente un 7,5 por ciento de los alumnos del Programa de Doctorado que sirve de precedente al Máster que se solicita proceden de Universidades Iberoamericanas. Es de prever que esta demanda continúe en un futuro

próximo dado el interés que se está suscitando a ambos lados del Atlántico por firmar convenios de colaboración y formación entre las universidades.

### **2.1.2 Interés científico**

El control tiene numerosos retos a los que ir enfrentándose. Existe una demanda creciente de sistemas con un mayor grado de autonomía, capaces de mantener prestaciones aceptables en presencia de fallos y de perturbaciones imprevistas. Se está produciendo un gran impulso en campos en los que el control juega un papel fundamental: el desarrollo de vehículos autónomos terrestres, marinos, aéreos y espaciales; una industria de manufactura cada vez más automatizada; robots más inteligentes; redes de comunicaciones cada vez más eficientes y tolerantes a fallos; redes de generación y distribución de energía eléctrica más fiables; estructuras resistentes a los seísmos. La historia nos enseña que las mejoras tecnológicas en coste, capacidades o introducción de nuevos elementos en los aspectos básicos de todo sistema de control: medida, cálculo y actuación, propician nuevos desarrollos y amplifican el campo de aplicación del control a nuevos campos que hacen bien poco no resultaban atractivos. Los desarrollos científicos y tecnológicos están permitiendo la manipulación de elementos inimaginables hasta ahora, lo que está propiciando el uso del control en numerosas aplicaciones en el campo de la física (control cuántico y control molecular, sistemas de nano escala, dispositivos micro-electro-mecánicos) y de la biología (control en agricultura, sistemas biológicos y médicos, modelado y control de sistemas medioambientales, biosistemas y bioprocesos).

### **2.1.3 Interés profesional**

El control es un campo interdisciplinar en el que los continuos avances tecnológicos obligan a formar a los estudiantes en aplicaciones multidisciplinares en las que deben dominar elementos de matemáticas y de computadoras a la vez que técnicas propias del control que les permita dar soluciones en campos muy diversos. La formación que se proporciona en el Máster sirve para campos como aplicaciones electrónicas, mecánicas, industriales, informáticas, producción de energía, redes de comunicaciones, automoción, manufactura y sistemas logísticos, mecatrónica, robótica y componentes, sistemas de transporte, procesos químicos, aplicaciones médicas y biológicas, sistemas medioambientales, aplicaciones a biosistemas y bioprocesos.

### **2.1.4 Experiencias previas en las Universidades solicitantes**

Como precedente del Máster que se solicita está el Programa de Doctorado interuniversitario UNED-UCM titulado "Ingeniería de Sistemas y Automática", que comenzó en el curso 2003/04 obteniendo del MEC la Mención de Calidad (MCD-2003-00412) El programa ha sido impartido por los departamentos de la UNED y de la UCM que solicitan el Máster. Hasta ahora se han matriculado en el mismo una media de 56,3 alumnos por año y se han realizado 25 Tesis Doctorales. Como en este Máster, las materias del Programa de Doctorado seguían una metodología de enseñanza a distancia, lo que motiva que gran parte de los alumnos matriculados

mantuvieran una relación laboral en empresas o en centros de investigación.

El Departamento de Informática y Automática de la UCM participa también en el programa de Máster de la Facultad de Informática en "Investigación en Informática" regido por la nueva ordenación de las enseñanzas de posgrado del Real Decreto 56/2005, y en el Máster en "Física Aplicada", del programa Oficial de posgrado de la Facultad de CC. Físicas (desde el curso 2006-07). Estos másteres tienen cinco asignaturas que se corresponden en mayor o menor medida con el que se propone. No obstante, el carácter diferenciador de éste reside no sólo en ser un Máster específico de Ingeniería de Control, sino, como ya se ha indicado, en la Metodología de las enseñanzas que se pretenden desarrollar.

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

Para realizar la propuesta de máster hemos realizado un análisis de la enseñanza e investigación de los temas de control en el mundo, utilizando como referencia las mejores universidades europeas, americanas y asiáticas según el "Academic Ranking of World Universities" conocido como índice ARWU de la Universidad Jiao Tong de Shanghai de 2007. Hemos encontrado que en 8 de las 10 primeras universidades del mundo se realiza investigación y se imparten enseñanza en temas de control, así como al menos en 20 de las 30 primeras. Las analizadas que contienen investigación y docencia en temas de control han sido, en América: Harvard, Stanford, Berkeley, MIT, Caltech, Princeton, UCLA, California-San Diego, Pennsylvania, Washington-Seattle, Washington-Madison, Michigan-Ann Arbor, Toronto, Illinois-Urbana Champaign, California Santa Barbara; en Europa: Cambridge, Oxford, Imperial College, FIT Zurich, Paris 11, Técnica de Munich, Upsala, Delft, Lovaina, Politécnico de Milán; en Asia: Kyoto, Nacional de Australia, Osaka, Tohoku y UST de Hong Kong.

En la mayor parte de las universidades los temas de ingeniería del control se enseñan en las ingenierías eléctricas y electrónicas, en la ingeniería mecánica y en los departamentos de ingeniería aeroespacial; en otras universidades está ligada a la informática ya que los computadores son el instrumento generalmente utilizado para realizar el control, muchas veces como sistemas empotrados. También aparecen en el campo de la ingeniería química donde al campo del control se le conoce como control de procesos, y tiene una gran importancia. Recientemente están apareciendo temas de control en cursos de grado para físicos y para biólogos, dos áreas en las que los temas de control están llamados a tener un papel importante.

En muchos centros aparecen intensificaciones en ingeniería de control o control de sistemas dentro de los másteres de Ingeniería Eléctrica o de Computer Science, o en titulaciones mixtas, como en el MIT, en el que dentro del Máster en Electrical Engineering and Computer Science aparece una intensificación en comunicaciones, control y procesamiento de señales.

Algunos centros donde aparecen de forma bien diferenciada títulos de Máster similares

al propuesto son:

### 2.2.1 Universidades Extranjeras

- Universidad de Harvard: "Master of Science in Systems and Control (Electrical Engineering)", "Control Theory and Communications (Applied Mathematics)".  
<http://www.seas.harvard.edu/academic/gradstudy/programs/>
- Universidad de Stanford: M.S. en Ingeniería Eléctrica con especializaciones en "Control and System Engineering" y en "Dynamic Systems and Optimization".  
([http://ee.stanford.edu/gradhandbook/Program\\_Information:Máster\\_of\\_Science\\_Degree](http://ee.stanford.edu/gradhandbook/Program_Information:Máster_of_Science_Degree))
- California Institute of Technology (Caltech): "Master of Science in Control and Dynamical Systems". <http://www.cds.caltech.edu/academics/>
- Universidad de Toronto: "Master of Science in Systems Control".  
<http://www.control.utoronto.ca/courses/courses.html>
- Washington University in St. Louis (USA): "Master of Science in Control Engineering". (<http://www.es.wustl.edu/Academics/MSCE.asp>)
- Imperial College: "Master of Science in Control Systems".  
(<http://www2.ee.ic.ac.uk/cap/education/index.htm>)
- Universidad de Salford (Manchester): "Master of Science in Automation and Robotics".(<http://www.cse.salford.ac.uk/courseview.php?level=postgrad&view=Engineering&ref=51>)
- Universidad de Newcastle: "Master of Science in Automation and Control".  
(<http://www.ncl.ac.uk/eece/postgrad>)
- Instituto de Tecnología de Zurich: "Master of Science in Mechanical and Process Engineering: specialization in Automatic Control and Robotics".  
([http://www.ethz.ch/prospectives/Máster/index\\_EN?course\\_id=31](http://www.ethz.ch/prospectives/Máster/index_EN?course_id=31))
- Escuela Politécnica Federal de Laussane: "Máster en Sciences du Génie Mécanique: Spécialité in Automatique et Mécatronique".  
(<http://sgm.epfl.ch/enseignement/cours/Máster.html>)
- Universidad de Dortmund: "Master of Science in Automation and Robotics".  
(<http://www.automationrobotics.uni-dortmund.de/index.php?sid=8>)
- Universidad de Duisburg-Essen: "Master of Science in Control and Information Systems". (<http://www.fb9dv.uni-duisburg.de/isedb/info.php?id=9&mode=studiengang>)

- Instituto Nacional Politécnico de Grenoble: "Máster en Automática y Robótica". (<http://www.lag.ensieg.inpg.fr/fr/formationsIndex.php>)
- Instituto Nacional de Ciencias Aplicadas de Lyon (INSA): "Máster de Investigación en ciencias de la información, los dispositivos y los sistemas: especialidad en Ingeniería de los sistemas Automáticos". (<http://sids.insa-lyon.fr/index.php?Rub=36>)
- Escuela Superior de Electricidad de París (SUPELEC): "Máster de Investigación en Ciencias de la Automática y del Tratamiento de la Señal". ([http://www.supelec.fr/fi/progMáster/ats/spec\\_ats.html](http://www.supelec.fr/fi/progMáster/ats/spec_ats.html))
- University of Linköping (Suecia): "Master of Science in Control and Autonomous Systems". (<http://www.liu.se/education/Máster/programmes/6MCAS>)
- Royal Institute of Technology (KTH) Stocolmo: "Master of Sciences in Electrical Engineering: Specialization in Systems Engineering". (<http://www.kth.se/student/studiehandbok/LOT.asp?Program=E&Inriktning=SYS&Lang=1>)
- Universitat Técnica de Eindhoven: "Master of Science in Systems and Control". ([http://w3.tue.nl/en/services/csc/study\\_information/Masters\\_programs/Masters\\_programs/systems\\_and\\_control/](http://w3.tue.nl/en/services/csc/study_information/Masters_programs/Masters_programs/systems_and_control/))
- Telemark University College (Noruega): "Master in Systems and Control Engineering". (<http://www.hit.no/nxceng/content/view/full/9290>)
- Ghent University (Bélgica): "Master of Electromechanical Engineering – Control Engineering and Automation". (<http://www.opleidingen.ugent.be/studiegids/CURRENT/EN/FACULTY/TW/MABA/EMWRKB/DOEL/INDEX.HTM>)
- Universidad Técnica de Praga: "Control Engineering and robotics". ([http://www.cvut.cz/en?set\\_language=en](http://www.cvut.cz/en?set_language=en))
- Aalborg University (Dinamarca): "Master in Control Engineering". (<http://esn.aau.dk/Masters/reguleringsteknik/>) KTH Stockholm . Embedded Control Systems.
- RMIT University (Australia): "Master in Electrical Energy and Control Engineering". (<http://www.rmit.com.au/browse;ID=DR024>)

## 2.2.2 Universidades españolas

Entre los títulos de Másteres relacionados que se imparten en otras universidades, españolas destacan los siguientes:

- Universidad Carlos III: "Máster en Robótica y Automatización". (<http://www.uc3m.es/uc3m/gral/TC/ESMAOF/RA/profesorado.htm>)
- Universidad Politécnica de Madrid: "Máster en Automática y Robótica". ([http://www.upm.es/estudios/postgrado/oficiales/tiutlos\\_Máster\\_automatica.pdf](http://www.upm.es/estudios/postgrado/oficiales/tiutlos_Máster_automatica.pdf)).
- Universidad Politécnica de Valencia: "Máster en Automática e Informática Industrial". (<http://www.maii.upv.es/?q=/Máster/index>).
- Universidad de Sevilla: "Máster en Automática, Robótica y Telemática". (<http://postgrado.esi.us.es/Máster0708/estructura-automatica.php>).
- Universidad de Almería: "Máster en Informática Industrial". (<http://nevada.ual.es:81/eps/posgrado/informatica/> )
- Universidad de Cartagena: "Máster en Informática Industrial". (<http://www.dte.upct.es/Máster/index.htm>).
- Universidad de Girona: "Máster en Informática Industrial y Automática". ([http://eia.udg.es/Máster-iaa/triptic\\_Máster\\_iaa\\_curs0708.pdf](http://eia.udg.es/Máster-iaa/triptic_Máster_iaa_curs0708.pdf)).
- Universidad de Zaragoza: "Máster en Ingeniería de Sistemas e Informática". ([http://webdiis.unizar.es/POPinformatica/documentos/POPInformatica\\_Folleto.pdf](http://webdiis.unizar.es/POPinformatica/documentos/POPInformatica_Folleto.pdf)).
- Universidad Autónoma de Barcelona: "Máster en Informática Industrial. Técnicas Avanzadas de Producción". (<http://www.uab.es/servlet/Satellite?cid=1096477056504&pagename=UAB%2FPage%2FTemplatePageDetailDoctorats&param1=2007&param2=1090573141672>)
- Universidad de Huelva: "Máster en Ingeniería de Control, Sistemas Electrónicos e Informática Industrial". (<http://www.uhu.es/posgrado/Máster-icseii/>)
- Universidad de Zaragoza: "Máster en Mecatrónica". (<http://wzar.unizar.es/servicios/epropios/oferta/154.html>)
- Universidad de Oviedo: "Máster Universitario en Mecatrónica". ([http://directo.uniovi.es/postgrado/cabecera\\_ep.asp?Curso=2007&IdPrograma=2915](http://directo.uniovi.es/postgrado/cabecera_ep.asp?Curso=2007&IdPrograma=2915))
- Universidad Politécnica de Cataluña: "Máster en Automática y Robótica". ([http://www.upc.edu/castellano/estudis/Másterseees/fitxa\\_Máster.php?id\\_estudi=22&id\\_titulacio=86&cerca=1](http://www.upc.edu/castellano/estudis/Másterseees/fitxa_Máster.php?id_estudi=22&id_titulacio=86&cerca=1))
- Universidad de Valladolid: "Máster en Modelización Matemática y Computación". (<http://wmatem.eis.uva.es/~immyc/>)

- Universidad del País Vasco: "Máster en Ingeniería de Sistemas Empotrados". ([http://www.ikasketak.ehu.es/p075-8926/es/contenidos/informacion/oferta\\_Masters/es\\_campo5/sistemas\\_empotrados\\_0708.html](http://www.ikasketak.ehu.es/p075-8926/es/contenidos/informacion/oferta_Masters/es_campo5/sistemas_empotrados_0708.html))

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

Se estableció una comisión de trabajo entre profesores de los Departamentos que tuvieron docencia en el Programa de Doctorado interuniversitario UNED-UCM que sirve de precedente al Máster (apartado 2.1). Los trabajos de esta comisión se trasladaron a los Departamentos implicados para que realizaran sugerencias para la propuesta. En un proceso iterativo se llegó a una propuesta que ha sido debatida en las Centros de las Universidades y que es la que se presenta. También se han tomado en consideración las opiniones de los estudiantes que han cursado el programa de doctorado del cual deriva este máster.

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

Se ha asistido a las discusiones que se realizan sobre la enseñanza de la Automática durante las celebraciones anuales de las Jornadas de Automática que organiza el Comité Español de Automática (CEA).

Se han analizado numerosos Másteres de Universidades Españolas y se han mantenido discusiones con profesores que han tenido responsabilidades en el desarrollo de éstos. Se han analizado la investigación y la docencia en los temas de control en las mejores Universidades extranjeras a partir de la información que proporcionan en sus páginas web.

Los investigadores que participan en el programa realizan, y han realizado, numerosos proyectos de investigación con empresas, entre otras, Indra Sistemas, EADS-CASA, Enagás, Navantia. Fruto de esta colaboración se nos ha manifestado la necesidad que las empresas tienen de disponer de personas con formación en los campos del control y la automática. También, las peticiones directas que todos los años se realizan a los departamentos por parte de empresas, de alumnos con formación específica en los temas del Máster.