



SOLICITUD DE APROBACIÓN DE TÍTULO DE MÁSTER

1. INFORMACIÓN GENERAL

a) Denominación
Máster Interuniversitario en Métodos Formales en Ingeniería Informática ISCED 1: ISCED 2:

b) Centro, Departamento o Instituto responsable
Facultad de Informática de la Universidad Complutense de Madrid (UCM). Escuela Politécnica Superior de la Universidad Autónoma de Madrid (EPS-UAM). Escuela Técnica Superior de Ingenieros Informáticos de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM).

c) Aprobación en Junta de Centro
En Madrid, a 21 de Marzo de 2017 DIRECTOR DE LA ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR Fdo.: Javier Ortega García

d) Relación con el plan estratégico de la Facultad/Escuela:

Justificación con respecto al número de titulaciones de Máster ofertadas, número de matriculados por titulación, etc.

Dentro de la Ingeniería Informática hay materias que no se imparten, o se muestran superficialmente, durante los estudios de Grado y que es difícil incorporarlas en un Máster Oficial en Ingeniería Informática que habilite para el ejercicio de la profesión (BOE-A-2009-12977). Estas materias las englobamos bajo el nombre genérico de métodos formales y su característica es que hacen un uso intensivo de técnicas y herramientas matemáticas en la construcción y verificación de sistemas de información y comunicación, en adelante Sistemas IC.

Los métodos formales constituyen el núcleo principal de un amplio número de congresos internacionales de primer nivel dedicados a la ingeniería del software, los lenguajes de programación, el diseño de protocolos de comunicación y la verificación de sistemas IC. Existen grupos y centros de investigación en la Comunidad de Madrid que trabajan activamente en esta temática, y grandes empresas de software como Google y Microsoft que dedican amplios recursos al estudio y desarrollo de los métodos formales.

Las materias que se pueden incluir dentro de los métodos formales están relacionadas con el análisis, la especificación, el diseño y la verificación de programas, de sistemas informáticos y de circuitos hardware, así como las relacionadas con el análisis y uso de la red global de comunicación y las matemáticas computacionales.

Desde el punto de vista de un informático que en su ámbito profesional no quiera verse limitado a una arquitectura concreta, el conocimiento de cómo se definen formalmente, analizan y diseñan lenguajes de programación para otros modelos de cómputo es esencial.

Hay un pequeño grupo de estudiantes, ciertamente minoritario, con una fuerte vocación investigadora, al que le interesa esta temática y a los que no se ofrecen estudios con esta orientación, no solo en Madrid, sino tampoco en ninguna universidad española. La consecuencia es que los interesados buscan y encuentran en otros países de nuestro entorno, y se corre el riesgo de que se pierdan estos estudiantes para los grupos y empresas investigadoras nacionales.

El público ideal para nutrir este máster son los estudiantes de los grados simples o dobles en Ingeniería Informática y en Matemáticas, de las universidades madrileñas, así como de las de otras regiones españolas, dada la carencia de este tipo de estudios en el panorama nacional.

Considerando el carácter minoritario de candidatos con respecto a los de otras ramas de la Informática más demandadas, estimamos que no tiene sentido dispersar los esfuerzos, ni los recursos, creando un máster de estas características en varias universidades. Por eso, el máster que se propone nace con una clara vocación interuniversitaria desde el principio. Esta vocación incluye tanto a los alumnos potenciales que han de nutrirlo, como a los profesores que han de impartir las distintas materias, optimizando así los recursos formativos.

Para mejorar la capacidad de atracción y conseguir aumentar la cantidad y calidad de los estudiantes, se propone la impartición de todos, o de la mayoría de las materias, en inglés y ofertar el máster también internacionalmente. Una referencia extranjera similar al máster

que se propone es la del Parisian Master of Research in Computer Science (<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/>), que se impartió por primera vez en el curso 2012/13, y en el que participan la Universidad de Paris Diderot, la Universidad de Paris Saclay y la Escuela Normal Superior de Ulm.

El número de plazas de nuevo ingreso ofertadas será de 30 estudiantes.

e) Carácter del Máster: *Académico, Investigador, Profesional, Profesión Regulada*

Académico, Investigador, Profesional

f) Datos del coordinador o de la coordinadora/responsable

Se propondrán tres coordinadores, uno por cada universidad.

Coordinador EPS-UAM

Apellidos y nombre: Lara Jaramillo, Juan de

Departamento: Ingeniería Informática

Teléfono: 91 497 22 77 Fax: 91 497 22 35 E-mail: juan.delara@uam.es

g) Composición de la comisión de coordinación:

Por parte de la UCM:

- Vicedecano de Posgrado de la Facultad de Informática
- Coordinador del máster UCM (coordinador principal)

Por parte de la UAM:

- Subdirector de Posgrado y Nuevas Enseñanzas de la EPS
- Coordinador del máster UAM

Por parte de la UPM:

- Subdirector de Posgrado
- Coordinador del máster UPM

h) En caso de ser título conjunto entre varias universidades:
Indicar el documento que se adjunta para acreditar que todas ellas están al corriente de la iniciativa:
Relación de universidades que participan en la titulación: Universidad Autónoma de Madrid Universidad Complutense de Madrid (Coordinadora) Universidad Politécnica de Madrid
Datos de la Universidad Coordinadora del Máster: Nombre de la Universidad Coordinadora: Universidad Complutense de Madrid Representante legal (Vicerrectora de Estudios): Pilar Herreros de Tejada Macua Coordinador del Máster: Ricardo Peña Marí Dirección de contacto: Departamento de Sistemas Informáticos y Computación, Facultad de Informática, C/ Profesor José García Santesmases, 9. Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid Teléfono: 91 394 7627 Fax: 91 394 7529 E-mail: ricardo@sip.ucm.es

2. OBJETIVOS E INDICADORES DE CALIDAD DEL TÍTULO

a) Exposición breve de los objetivos del título
<p>El objetivo del máster es capacitar a los estudiantes para el uso de métodos formales y herramientas para la definición, análisis y programación de nuevos modelos de cómputo, y que den soporte a la especificación, construcción y verificación de sistemas informáticos asegurando su corrección. En el máster se expondrán tanto fundamentos teóricos de los métodos formales, como aspectos prácticos, incluyendo el diseño de algoritmos, la utilización de herramientas y aplicaciones. Se estudiarán un amplio espectro de métodos formales, aplicables en a las distintas fases del proceso de desarrollo de sistemas IC. De esta manera se estudiarán técnicas de análisis estático de programas (secuenciales, concurrentes y distribuidos), demostradores automáticos, diseño y análisis de protocolos de seguridad, modelos abstractos de cómputo, métodos formales de testing, desarrollo basado en modelos, y técnicas que aseguren corrección por construcción. También se estudiarán técnicas de resolución de problemas software para dominios específicos, como los algoritmos bio-inspirados, el aprendizaje automático y la programación con restricciones, así como técnicas de última generación como la computación cuántica.</p> <p>Durante el máster, los estudiantes tendrán la oportunidad de aprender estos conceptos en teoría y en la práctica, ya que se posibilita la realización de prácticas externas en grupos de</p>

investigación o empresas.

Al final del máster el estudiante habrá adquirido los fundamentos teóricos que le capaciten para aplicar métodos a la especificación formal y análisis de modelos de cómputo en la construcción y verificación de sistemas IC. De esta forma el estudiante contará con las competencias necesarias para la definición y análisis de modelos de cómputo y el desarrollo de aplicaciones software de calidad y sin errores, así como para la auditoría y validación de sistemas informáticos y de control automático. La realización del máster supondrá un alto impacto en la empleabilidad de los estudiantes, debido a su perfil especializado, que les permitirá una entrada a la investigación en esta área, o la incorporación a empresas punteras en I+D+i.

b) Evidencia de la demanda social y potencial

Evidencia del interés para la sociedad del título presentado, justificando su adecuación a demandas sociales concretas

La fiabilidad en la construcción de sistemas IC y su crecimiento han evolucionado hasta alcanzar tamaños y complejidades extraordinariamente altos. Su inestabilidad se está convirtiendo, lamentablemente, en algo cotidiano y está siendo asumido con resignación por los usuarios en una sociedad de la información cada vez más exigente.

Para garantizar la fiabilidad en los sistemas IC son necesarias técnicas, métodos y herramientas que soporten de forma adecuada el proceso de desarrollo y, para esto, se necesita una inversión de recursos que promueva avances en la investigación de nuevos métodos de desarrollo de software, nuevas técnicas de verificación y validación, nuevas tecnologías de soporte para componentes de software comercial, etc.

El uso de métodos formales está creciendo en el área del desarrollo de sistemas críticos, en donde las propiedades emergentes del sistema tales como seguridad, fiabilidad y protección son importantes. El alto coste de los fallos de funcionamiento en estos sistemas implica que las compañías están dispuestas a aceptar los costes elevados iniciales de los métodos formales para asegurar que su software es tan confiable como sea posible.

En determinados problemas se ha evidenciado la dificultad de encontrar algoritmos viables desde el punto de vista de la complejidad computacional. Esto junto con las limitaciones de incremento de rendimiento de la tecnología presente en los actuales computadores hace que se considere con creciente interés la posibilidad del uso de nuevas arquitecturas de cómputo. Por ejemplo, la bioinspiración ofrece la posibilidad de incorporar estructuras de cómputo que en la naturaleza solucionan problemas de este tipo de manera eficiente. La mayoría de estos sistemas son intrínsecamente paralelos.

La popularización del acceso a plataformas masivamente paralelas a la que estamos asistiendo en la actualidad, por ejemplo, mediante los servicios de computación en la nube son un ejemplo. Algunos de estos problemas son contemplados actualmente desde la perspectiva que se ha dado en llamar “big data”.

Los sistemas críticos en los que los métodos formales se han aplicado con éxito incluyen un sistema de información de control de tráfico aéreo, sistemas de señalización de redes

ferroviarias, sistemas de naves espaciales, sistemas de control médico, etc.

La formación adquirida en el máster propuesto confiere una especial capacidad para aplicar métodos matemáticos al diseño y análisis de modelos de cómputo y a la resolución rigurosa de problemas informáticos sobre cada una de esas arquitecturas. La práctica totalidad de los errores que aparecen con frecuencia en los sistemas informáticos se deben a una insuficiente formalización de los requisitos, del diseño o/y de la implementación de los mismos. Este máster mejorará la capacidad de los egresados para evitar tales errores en el desarrollo de los sistemas, pero también para identificar y plantear soluciones a errores presentes en sistemas en explotación.

Las posibles inserciones laborales de los titulados son las siguientes:

- Empresas de base tecnológica cuyos productos software necesiten mucha o absoluta fiabilidad, tales como las de telecomunicación, o las que produzcan software crítico (aeroespaciales, automoción, material hospitalario, energía, etc.)
- Grupos de investigación de las universidades
- Centros de investigación estatales (CSIC), de las comunidades autónomas (IMDEA en Madrid, red CERCA en Cataluña, centros CIC y BERC en el País Vasco, etc.), y de instituciones privadas.

c) Calidad de la investigación

La Escuela Politécnica Superior (EPS) cuenta con 13 grupos de investigación en áreas que cubren un amplio espectro de las TICs. En relación con el máster que se propone:

- El grupo de aprendizaje automático (GAA) investiga en métodos de aprendizaje automático y su aplicación a distintos dominios.
- El grupo de inteligencia aplicada y análisis de datos (AIDA, <http://aida.ii.uam.es/>) trabaja en la aplicación de algoritmos de inteligencia computacional (estrategias evolutivas: algoritmos genéticos y programación genética, estrategias de enjambre: optimización basada en colonias de hormigas, abejas y aves, programación con restricciones, planificación y scheduling) a la resolución de problemas y el análisis de datos en dominios reales como: el análisis de redes sociales (detección de comunidades, radicalización en redes), los sistemas autónomos no tripulados (UAVs), los videojuegos, o la ciberseguridad, entre otros.
- El grupo de modelado e ingeniería del software (miso, <http://miso.es>) trabaja en fundamentos y herramientas para el desarrollo automatizado de software. Este grupo utiliza métodos formales basados en transformación de grafos, lógica, teoría de categorías, redes de Petri, model checking y resolución de restricciones para la resolución de problemas en la ingeniería del software.
- Algunos miembros del grupo de Herramientas Interactivas y Aplicaciones (GHIA) trabaja en algoritmos bio-inspirados (sistemas de membranas, sistemas P, autómatas celulares) y gramáticas de atributos en la resolución de problemas de ingeniería del software.
- Una de las líneas de investigación del Grupo de Neurocomputación Biológica (GNB) comporta el diseño y evaluación de protocolos para la protección de la seguridad y la privacidad de la información. De modo más concreto, se han desarrollado procedimientos para combinar la evaluación de protocolos combinando técnicas automáticas de verificación formal de protocolos de comunicación con el modelo estándar de verificación de seguridad en criptografía.

El entorno de investigación multidisciplinar de la EPS ha producido publicaciones en revistas de referencia relacionadas con los métodos formales indexadas en dentro del JCR como por ejemplo: SCI Software Engineering, SCI Information Systems, Logic, Theoretical Computer Science (Elsevier), Journal of Systems and Software , Knowledge-Based systems, Information Fusion, Information Sciences, IEEE TKDE, Engineering Applications of Artificial Intelligence, International Journal of Neural Systems, Expert Systems with Applications, Soft Computing, etc.

Además, los profesores de la EPS son revisores habituales de revistas relacionadas con los métodos formales y su aplicación, como Journal of Systems and Software, Computer Journal , Information Sciences , Journal of Visual Communication and Image Representation , etc.

d) Calidad de las prácticas

Se podrán computar 6 ECTS de carácter optativo por prácticas externas curriculares dirigidas, mediante contrato o becas formales y retribuidas, en empresas de base tecnológica y en instituciones públicas o privadas de investigación.

El trabajo dirigido se realizará en la institución de acogida, tendrá una duración mínima de dos meses, y la carga de trabajo para el estudiante será la equivalente a 6 ECTS, es decir unas 150 horas.

La finalidad de las prácticas es que contribuyan a la formación de los estudiantes del máster y deberán ser realizadas de forma no interrumpida en la misma entidad colaboradora y con el mismo tutor profesional, salvo excepciones debidamente razonadas y justificadas.

e) Internacionalización

Presencia de estudiantes extranjeros y participación de profesores procedentes de universidades extranjeras

La internacionalización del Máster es uno de nuestros objetivos fundamentales.

- Captación de estudiantes extranjeros:

Para facilitar la incorporación de estudiantes extranjeros, todo el material docente estará en inglés. No se planteará requisito alguno de idioma; en el caso de estudiantes que no sean castellano parlantes se fomentará con ellos la comunicación en lengua inglesa. Por último, en la medida que los recursos disponibles lo permitan, daremos difusión del Máster en el extranjero.

- Incorporación de profesores extranjeros:

Pretendemos acceder a los programas de movilidad para incorporar a docentes extranjeros a los másteres. También se podrá aprovechar visitas a las universidades implicadas en el máster de profesores/investigadores extranjeros para acomodar presentaciones en ciclos de seminarios de investigación a los que podrán asistir los estudiantes.

3. ESTRUCTURA DEL PLAN DE ESTUDIOS

Rama de Conocimiento: Ingeniería y Arquitectura

Tipo de materia	Créditos que debe cursar el estudiante	Créditos ofertados
Obligatorias.....	18	18
Optativas.....	30	60
Prácticas externas.....		
Trabajo Fin de Máster.....	12	12
Total.....	60	90

Indicar si existen itinerarios y el nº de créditos obligatorios por itinerario
<p><u>Itinerario 1</u> Denominación: N° de créditos obligatorios:</p>
<p><u>Itinerario 2</u> Denominación: N° de créditos obligatorios:</p>

Propuesta de máster interuniversitario				
<i>Indicar la participación de la UAM en número de créditos</i>				
Módulos	ECTS	% Participación		
		UAM	UCM	UPM
Métodos formales fundamentales	18	0-30	40-70	10-30
Métodos formales complementarios	60	20-50	30-50	10-30
TFM	12	*	*	*
Total	90	20-40	35-60	10-30

* En el caso de los TFM los estudiantes elegirán tutor entre los profesores de las Universidades implicadas.

DESTINATARIO	COMISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO
---------------------	---