

MEMORIA PARA  
LA SOLICITUD DE VERIFICACIÓN  
DE MÁSTER OFICIAL

Título:  
MÁSTER UNIVERSITARIO  
EN MATEMÁTICA INDUSTRIAL

Universidades participantes:

UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE COMPOSTELA  
UNIVERSIDAD DE A CORUÑA  
UNIVERSIDAD DE VIGO  
UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID



Universidade de Vigo



## 1. DESCRIPCIÓN DEL TÍTULO

### 1 Denominación

MÁSTER UNIVERSITARIO EN MATEMÁTICA INDUSTRIAL

#### 1.1.1 DENOMINACIÓN PROPUESTA EN INGLÉS

Master in Industrial Mathematics

1.1.2 **ORGANIZACIÓN ACADÉMICA.** Se trata de un Máster interuniversitario, ofrecido conjuntamente por las siguientes universidades públicas:

- Universidad de Santiago de Compostela
- Universidad de A Coruña
- Universidad de Vigo
- Universidad Carlos III de Madrid
- Universidad Politécnica de Madrid

#### 1.2 Universidad Solicitante y Centro, Departamento o Instituto responsable del programa

UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA (CIF Q15180001-A)

Representante Legal: **Juan Casares Long (NIF: 32384100-P)**

#### **Centro, Departamento o Instituto responsable del título**

Facultad de Matemáticas, Departamento de Matemática Aplicada

Responsable (Solicitante): **Alfredo Bermúdez de Castro López-Varela (32382726Z)**

#### **Dirección a efectos de notificación:**

Universidad de Santiago de Compostela  
Departamento de Matemática Aplicada  
15782, Santiago de Compostela  
(A Coruña)  
Correo-e: [alfredo.bermudez@usc.es](mailto:alfredo.bermudez@usc.es)  
**Tlfno.** 8818 13192  
**Fax.** 8818 13197

### 1.3 Universidades Participantes y Centros, Departamentos o Institutos responsable del programa

- UNIVERSIDADE DE A CORUÑA (CIF Q6550005-J)

**Representante Legal:** Xosé Luis Armesto Barbeito (NIF 32375144-E)

**Centro, Departamento o Instituto responsable del título**  
Facultad de Informática

**Responsable (Coordinador):** Carlos Vázquez Cendón

**Tlfno.** 981 167 150 Ext: 1335

**Fax:** 981 167 160

**Dirección a efectos de notificación:**

Universidad de A Coruña

Facultad de Informática

Campus ELVIÑA

15071, A Coruña

Correo-e: [carlosv@udc.es](mailto:carlosv@udc.es)

- UNIVERSIDADE DE VIGO (CIF Q8650002-B)

**Representante Legal:** Salustiano Mato de la Iglesia (NIF 32252602-P)

**Centro, Departamento o Instituto responsable del título**

E.I. Telecomunicación

**Responsable (Coordinador):** José Durany Castillo

**Tlfno.** 986 81 21 64

**Dirección a efectos de notificación:**

Universidad de Vigo

E.I. Telecomunicación

Campus MARCOSENDE

36310, Vigo (Pontevedra)

Correo-e: [durany@dma.uvigo.es](mailto:durany@dma.uvigo.es)

- UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

**Representante Legal:** Daniel Peña Sánchez de Rivera (NIF 13084327H)

**Centro, Departamento o Instituto responsable del título**

Instituto Universitario Gregorio Millán Barbany de Modelización y Simulación en Fluidodinámica, Nanociencia y Matemática Industrial

**Responsable (Coordinador):** Luis López Bonilla

**Tlfno.** 91 624 94 45

**Dirección a efectos de notificación:**

Universidad Carlos III de Madrid

Escuela Politécnica Superior

Avenida Universidad 30

28911, Leganés (Madrid)

[bonilla@ing.uc3m.es](mailto:bonilla@ing.uc3m.es)

- UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID (CIF Q-2818015F)

**Representante Legal:** Carlos Conde Lázaro (NIF 13084327H)

**Centro, Departamento o Instituto responsable del título**  
E.T.S.I. Aeronáuticos

**Responsable (Coordinador):** José Manuel Vega de Prada  
**Tlfno.** 91 336 63 08

**Dirección a efectos de notificación:**

Universidad Politécnica de Madrid

E. T. S. I. Aeronáuticos

Plaza Cardenal Cisneros, 3

28040, Madrid

[josemanuel.vega@upm.es](mailto:josemanuel.vega@upm.es)

#### 1.4 Tipo de Enseñanza

Modalidad de enseñanza (presencial, semipresencial, no presencial)	Presencial
Número de plazas máximas de nuevo ingreso ofertadas en el primer curso de implantación <u>por modalidad de enseñanza</u>	Se propone un número de 20 por cada universidad participante, 15 + 5 para extranjeros (si no hay los 5 extranjeros el total puede ser 20)
Número de plazas máximas de nuevo ingreso ofertadas en el segundo curso de implantación <u>por modalidad de enseñanza</u>	Se propone un número de 20 por cada universidad participante, 15 + 5 para extranjeros (si no hay los 5 extranjeros el total puede ser 20)
Lenguas empleadas en el proceso <u>formativo (sólo de las materias obligatorias)</u>	castellano
Información sobre acceso a ulteriores estudios	Ver requisitos de permanencia
Número de ECTS del título	90

#### USC

	Tiempo completo		Tiempo parcial	
	ECTS matrícula mínima	ECTS matrícula máxima	ECTS matrícula mínima	ECTS matrícula máxima
1 <sup>er</sup> curso	60	60	30	30
Resto cursos	3	75	3	30

Convocatoria anual de matrícula USC:

<http://www.usc.es/gl/perfis/estudiantes/matricula/masteroficial.html>

**UDC**

	Tiempo completo		Tiempo parcial	
	ECTS matrícula mínima	ECTS matrícula máxima	ECTS matrícula mínima	ECTS matrícula máxima
1 <sup>er</sup> curso	60	60	3	59
Resto cursos	60	No se define	3	59

**UVIGO**

	Tiempo completo		Tiempo parcial	
	ECTS matrícula mínima	ECTS matrícula máxima	ECTS matrícula mínima	ECTS matrícula máxima
1 <sup>er</sup> curso	60	60	30	30
Resto cursos	3	75	3	30

**UPM**

	Tiempo completo		Tiempo parcial	
	ECTS matrícula mínima	ECTS matrícula máxima	ECTS matrícula mínima	ECTS matrícula máxima
1er cursos	40(nunca menos de 20 por semestre)	80(nunca superior a 40 por semestre)	30(nunca menos de 15 por semestre)	No se definen
Resto cursos	40(nunca menos de 20 por semestre)	80(nunca superior a 40 por semestre)	30(nunca menos de 15 por semestre)	No se definen

Normativa de acceso y matriculación aprobada por el Consejo de Gobierno de la UPM en su sesión de 26 de abril de 2012.

<http://www.upm.es/institucional/UPM/NormativaLegislacion/NormativaUPM/NormativaAlumnos>

**UC3M**

	Tiempo completo		Tiempo parcial	
	ECTS matrícula mínima	ECTS matrícula máxima	ECTS matrícula mínima	ECTS matrícula máxima
1 <sup>er</sup> curso	60	60	30	30
Resto cursos	30	No se define	18	30

Normativa de permanencia, dispensa de convocatoria y matrícula aprobada inicialmente por el Consejo de Gobierno de la Universidad Carlos III de Madrid en su sesión de 7 de febrero de 2008 y definitivamente por el Consejo Social en su sesión de 28 de mayo de 2008.

[http://www.uc3m.es/portal/page/portal/conocenos/nuestros\\_estudios/normativa\\_09/normas\\_matricula](http://www.uc3m.es/portal/page/portal/conocenos/nuestros_estudios/normativa_09/normas_matricula)

### 1.5 Número de plazas de nuevo ingreso ofertadas

Se propone un número de 20 por cada universidad participante, 15 + 5 para extranjeros (si no hay los 5 extranjeros el total puede ser 20).

**Orientación:** profesional e investigadora

### 1.6 Número de Créditos de matrícula por estudiante y periodo lectivo y requisitos de matriculación

- **Número de créditos del título:** 90 ECTS.
- **Periodo lectivo:** tres semestres de 30 ECTS cada uno.

#### Requisitos de permanencia

Se acogerá a la normativa establecida por las universidades participantes.

#### USC

Indicamos el enlace a la normativa de permanencia de la universidad coordinadora, USC:  
[http://www.xunta.es/dog/Publicados/2012/20120717/AnuncioG2018-110712-0001\\_es.html](http://www.xunta.es/dog/Publicados/2012/20120717/AnuncioG2018-110712-0001_es.html)

#### UDC

Normativa de permanencia

[http://www.udc.es/export/sites/udc/normativa/galeria\\_down/titulos/Permanencia\\_g.pdf](http://www.udc.es/export/sites/udc/normativa/galeria_down/titulos/Permanencia_g.pdf)

#### UVIGO

La nueva normativa de permanencia adaptada a la legislación vigente ha sido aprobada en el Consello de Goberno de la Universidad de Vigo el 13/07/2012. En cuanto se reciba la aprobación del Consejo de Universidades y del Consello Social de la UVigo, se alojará en la página:

[http://secxeral.uvigo.es/secxeral\\_gl/normativa/universidade/ordenacion/normas.html](http://secxeral.uvigo.es/secxeral_gl/normativa/universidade/ordenacion/normas.html)

#### UPM

Página de la UPM en la que se accede a la Normativa de Permanencia de Alumnos de la UPM.  
<http://www.upm.es/institucional/UPM/NormativaLegislacion/NormativaUPM/NormativaAlumnos>

### **UC3M**

Página de la UC3M en la que se accede a la Normativa de Permanencia de Alumnos de la UC3M.

[http://www.uc3m.es/portal/page/portal/postgrado\\_mast\\_doct/normativa](http://www.uc3m.es/portal/page/portal/postgrado_mast_doct/normativa)

## **1.7 Resto de información necesaria para la expedición del Suplemento Europeo al Título de acuerdo con la normativa vigente**

**Rama de conocimiento:** Ingeniería y Arquitectura

**Naturaleza de las instituciones que han conferido el título:** Cinco universidades públicas

**Naturaleza del centro universitario en el que el titulado ha finalizado sus estudios:** Centros propios

**Profesiones para las que capacita una vez obtenido el título:** Ninguna

**Lengua(s) utilizadas a lo largo del proceso formativo:** castellano y/o gallego

**Códigos ISCED vinculados al título:**

- *46 Matemáticas y estadística*
- *52 Ingeniería y profesiones afines*

## **2. JUSTIFICACIÓN**

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

#### **A) Antecedentes**

El Máster Universitario en “Matemática Industrial” que se propone para su implantación es una fusión de dos títulos oficiales, el Máster en Ingeniería Matemática, nacido en el marco del programa de Postgrado Interuniversitario “Métodos Matemáticos y Simulación Numérica en Ingeniería y Ciencias Aplicadas”, que se viene impartiendo en las Universidades de Santiago de Compostela, A Coruña y Vigo desde el curso 2006-07, y del Máster Universitario en Matemática Industrial, que se viene impartiendo en la Universidad Carlos III de Madrid desde el curso 2010-11, ambos integrados en programas de postgrado con mención de calidad o vinculados a programas de doctorado con esta mención en las convocatorias abiertas durante el periodo de impartición. En la propuesta actual participan, además de las universidades responsables de los dos programas anteriores, la Universidad Politécnica de Madrid, que ha fundido en esta propuesta un borrador de propuesta que estaba en elaboración, buscando aprovechar sinergias y unificar materias que ya se imparten en másteres específicos de ingeniería con un alto contenido matemático, como, por ejemplo, el Máster Universitario en Ingeniería Aeroespacial, también integrado en un postgrado con mención de calidad. Desde esta perspectiva, se busca aunar esfuerzos desde enfoques convergentes y complementarios, ahorrando medios humanos y materiales y promoviendo sinergias entre los grupos

proponentes. Las universidades proponentes tienen medios y experiencia en el uso de videoconferencia en la enseñanza presencial.

## **b) Entorno y alcance**

El Máster Interuniversitario en Matemática Industrial responde a:

- (1) Las necesidades de formación a nivel de máster de profesionales en Matemática Industrial puestas de manifiesto tanto por la Unión Europea como por la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) en su documento “*Global Science Forum. Report on Mathematics in Industry*”.
- (2) Los requisitos del proyecto europeo de desarrollo curricular ECMIMIM (proyecto Erasmus – Curriculum Development del programa LifeLong Learning) aprobado y financiado por la Unión Europea, que suponen la implantación de un máster sobre la temática referida por cada uno de los nueve socios del proyecto, entre los que está la Universidad Carlos III de Madrid.

El Máster está orientado a la formación avanzada, de carácter especializado o multidisciplinar, dirigida a una especialización profesional, así como a promover la iniciación en tareas investigadoras. De acuerdo con lo dicho, el programa que se presenta se inspira en una iniciativa más amplia a nivel europeo, respondiendo a la necesidad de proporcionar formación en Matemática Industrial, de acuerdo con el creciente papel que juegan las herramientas puramente matemáticas en la industria europea. Como ejemplo, se tiene la iniciativa promovida por el European Consortium for Mathematics in Industry (ECMI; ver la página web <http://www.ecmi-indmath.org>), que coordina a nivel europeo un Máster en Matemática Industrial en el que participan en la actualidad nueve universidades europeas: Dresde (Alemania), Autónoma de Barcelona (España), Universidad Carlos III de Madrid (España, coordinadora), Tartu (Estonia), Lappeenranta (Finlandia), la École des Mines de Paris (Francia), Milán (Italia), Lund (Suecia) y Oxford (Reino Unido). El objetivo de esta iniciativa común es articular un Programa de Estudios en Matemática Industrial con un tronco común y unas materias específicas de cada centro de acuerdo con sus potencialidades y características, que permita el intercambio de estudiantes y profesores entre los distintos centros. El Máster Interuniversitario en Matemática Industrial objeto de la presente propuesta se inspira en parte en esta iniciativa, y se ha diseñado para poder ofrecer dobles titulaciones con las universidades participantes.

Los modelos computacionales y las tecnologías matemáticas son un recurso vital de I+D y un ingrediente esencial en la agenda de las tecnologías de innovación. Representan hoy en día ingredientes esenciales para abaratar y acelerar el desarrollo de nuevos productos en muchos sectores industriales, desde el aeroespacial hasta el financiero, pasando por sectores tradicionales como la industria auxiliar del automóvil. Por su propia naturaleza de metodología genérica y flexible, la Matemática Industrial ofrece la oportunidad de lograr ventajas competitivas en procesos de diseño



reales, acelerar ciclos de desarrollo, estimular los procesos de innovación, apoyar los esquemas de integración de sistemas y rediseñar y controlar los modelos de producción. La Matemática Industrial está entre las metodologías de nueva generación en I+D y de gestión del conocimiento. Es un hecho bien establecido que un número creciente de sectores en la industria, el comercio, las finanzas y la administración emplean modelos matemáticos, computacionales y técnicas de simulación en sus labores de I+D. Se utilizan modelos para reemplazar o aumentar el alcance de experimentos o tests de laboratorio, para crear imágenes virtuales de objetos y sistemas, materiales aun no existentes y condiciones artificiales, para optimizar el diseño de productos, para predecir el comportamiento de sistemas, así como factores de riesgo y posibles fallos, aumentar el conocimiento de mecanismos y fenómenos complejos, realizar análisis inteligentes de datos de medida y para gestionar y controlar grandes sistemas de información, redes y bases de datos. En definitiva, tanto la matemática relevante para su aplicación en la industria como el conocimiento básico de las disciplinas requeridas para desarrollar estas aplicaciones forman parte de los conocimientos que se están impartiendo en los programas de Máster de Matemática Industrial en Europa.

Por consiguiente, este programa pretende que los alumnos adquieran conocimientos científicos y tecnológicos avanzados sobre la Matemática Industrial y dominen un conjunto de principios teóricos, métodos científicos e instrumentos formales que les capaciten para llevar a cabo trabajos de investigación, diseño, desarrollo e innovación en este área, todo ello de forma flexible para facilitar su adaptación al entorno tan rápidamente cambiante y tan crecientemente competitivo que está afectando de modo sustancial a los sectores industriales europeos, y españoles en particular.

Para dar respuesta a esta demanda, se propone un Máster Interuniversitario en Matemática Industrial, centrado en modelado, simulación, y manejo de software específico, que permita la construcción y utilización de modelos y software con criterios sólidamente fundamentados. En particular, a la vista de las competencias generales y específicas que se enumeran más abajo, en el punto 3.1, es un objetivo primordial del programa facilitar una formación sólida que permita integrarse rápidamente en un entorno industrial y estar en disposición de proseguir una carrera profesional con responsabilidades de intensidad creciente. Por otro lado, tal como se describe en el apartado 6, los grupos proponentes tienen una experiencia bien contrastada (por el número de sexenios, de publicaciones de revistas internacionales, de citas, de patentes, de software registrado y de contratos obtenidos en convocatorias competitivas, tanto del sector público como privado) en I+D+i, en un amplio espectro de sectores industriales. La relación directa con empresas de estos sectores (ver apartado 6), facilitará, tanto la realización de prácticas en estas empresas como la inserción de los egresados. Por ello, la consecución de los objetivos del programa, lejos de ser una declaración de intenciones, responde a una visión realista y concreta de las necesidades de la industria a las que se pretende responder.

Para obtener la cualificación mencionada más arriba es imprescindible que los alumnos del máster reciban una formación que les aporte conocimientos, competencias y habilidades operativas, complementando los conocimientos de Matemáticas, Ingeniería y materias afines ya adquiridos bien en la Universidad o bien a través de su experiencia profesional. Estos conocimientos engloban desde los puramente técnicos, como son los que afectan a las habilidades y aptitudes que permiten aplicar los conocimientos adquiridos para el ejercicio de la profesión, hasta los que les facultarán para abordar los nuevos y complejos problemas que plantea la rápida evolución de la industria. La adecuada combinación de todos estos conocimientos y habilidades es lo que configura el Máster que se propone en este documento. La propia dinámica de la sociedad genera un mundo relacionado con la profesión matemática cada vez más competitivo y complejo, puesto que aparecen nuevos problemas cuya resolución solo puede ser el fruto de un estudio profundo y pormenorizado de los mismos. En este sentido, es fundamental que exista un proceso de formación de postgrado que proporcione a los alumnos el desarrollo científico adecuado para que los conocimientos y las habilidades adquiridas previamente se vayan adaptando a las nuevas necesidades que están surgiendo en el entorno tecnológico y económico-social.

Por otro lado, tal y como se ha señalado más arriba, la formación de titulados de Máster en Matemática Industrial requiere la adquisición de competencias en el campo del modelado y en el campo de la simulación numérica. Desde luego, ambos campos están fuertemente relacionados entre sí y todos los titulados del Máster en Matemática Industrial tendrán que adquirir unas competencias básicas en ambos campos pero, al mismo tiempo, cuando se considera una formación avanzada en ellos, como se hace en este Máster, presentan aspectos claramente diferenciados. Esto hace necesario contemplar la existencia de dos especialidades dentro del Máster en Matemática Industrial, cada una de ellas centrada en uno de estos campos y denominadas “Especialidad en Modelado” y “Especialidad en Simulación Numérica”.

De esta forma, el **interés científico/tecnológico** del Máster Interuniversitario en Matemática Industrial se apoya en tres pilares básicos:

1. Ampliar la capacidad analítica y los conocimientos de los estudiantes que conformarán los equipos de investigación y profesionales futuros.
2. Proporcionar habilidades concretas en lo relativo al diseño, construcción y manejo de software específico de uno de los sectores industriales al menos.
3. Introducir a los estudiantes en los temas de investigación y desarrollo relacionados con las materias que conforman el presente programa.

Estos aspectos permiten conformar un máster en Matemática Industrial vivo, capaz de evolucionar de acuerdo con las exigencias del mercado europeo, de modo que se capacite a los estudiantes para integrarse en equipos profesionales y de investigación multidisciplinar.

El **interés académico** del Máster Interuniversitario en Matemática Industrial que se propone es claro, puesto que es homologable a los másteres en Matemática Industrial que se ofrecen en los países europeos más avanzados tecnológicamente, permitiendo el intercambio sistemático de estudiantes y profesores en el marco entre los programas adaptados al esquema de Bolonia. Para ello, se negociarán convenios bilaterales con otros centros europeos, de modo que complementado con una estancia en uno de estos centros por parte de los alumnos que así lo deseen, se completen los 120 ECTS que requiere acceder a dobles titulaciones. El programa está diseñado de modo que estos convenios sean factibles. En efecto:

1. Cumple los requisitos recogidos en el Lifelong Learning Programme 2007 – 2013 de la Education, Audiovisual and Culture Executive Agency (EACEA) de la Unión Europea y los específicos del proyecto Erasmus CD antes mencionado.
2. Su diseño permite su integración en el sistema de dobles titulaciones con las universidades del European Consortium for Mathematics in Industry (ECMI) participantes en el proyecto Erasmus CD ECMIMIM, que incluyen a la Universidad Carlos III de Madrid y las universidades de Oxford, Milán, Dresde, Lund, Laapeenranta, Tartu, la UAB y la Ecole des Mines de Paris. Así, además de la posibilidad de seguirlo en inglés, el programa comprende un núcleo de enseñanzas convalidables (hasta 60 créditos ECTS) por las impartidas en los demás centros del proyecto ECMIMIM, así como unos contenidos específicos acordes con la especialización científica de la Universidad Carlos III de Madrid que se ofrecen, tanto a los estudiantes de estas universidades como a otros, especialmente de América Latina, Turquía, China y la India.
3. Recíprocamente, el programa permitirá que los estudiantes puedan cursar 30 ECTS en las otras universidades del consorcio para obtener el reconocimiento mutuo del título prevista en el proyecto ECMIMIM, así como elaborar la tesis de máster de 30 ECTS que se realizará en un entorno industrial, local o de otro país europeo. Estas dobles titulaciones requerirán la firma de convenios bilaterales entre las Universidades, como el ya existente para el Máster en Matemática Industrial de la Universidad Carlos III de Madrid entre esta Universidad y la Universidad de Milán.
4. Por último, el máster dotará a los graduados con la formación de base suficiente para poder continuar estudios nacionales o internacionales de Doctorado.

El **interés social** (profesional) se manifiesta a través de la demanda existente en los másteres de las distintas universidades con estudios de postgrado en Matemática Industrial. Así, los titulados en estos másteres son muy demandados especialmente por los departamentos de I+D+i de las empresas multinacionales europeas, especialmente de los países nórdicos, Reino Unido y de Centroeuropa. Además, puesto que existen muchos estudiantes de Latinoamérica interesados en adquirir esta formación, este máster permitirá incrementar nuestra proyección internacional mediante la cooperación con las universidades y centros de investigación de esta zona. Por otro lado, puesto

que existe una demanda constante de las empresas de perfiles dobles en Ingeniería y Matemáticas, este máster puede servir para elevar el nivel profesional de aquellos ingenieros técnicos y matemáticos que lo cursen, así como para reciclar profesionalmente a titulados de áreas afines como la física, química, informática, ingenierías superiores, etc. Por todo ello, la justificación social y profesional de este máster está claramente demostrada.

## **2.2 Previsión de la demanda**

Desde la entrada en vigor de las titulaciones de Grado, el Máster que se propone recibirá como alumnos a los futuros graduados en Ciencias, Ingeniería y Arquitectura, así como a los actuales licenciados que cumplan los requisitos establecidos en el artículo 3 del R. D. 56/2005 de 21 de enero de 2005 (BOE de 25 de enero de 2005), con formación adecuada para el seguimiento del programa. Para ello, aunando esfuerzos y capacidades de los grupos proponentes, el programa se ha diseñado con suficiente optatividad, de modo que se permita integrar a estudiantes de formación/procedencia muy diversa, de acuerdo con la vocación genuinamente multidisciplinar desde la que se ha elaborado esta propuesta. Al igual que ha sucedido a lo largo de los últimos años con los programas que se unifican en el programa actual, deben preverse como alumnos potenciales tanto a los recientes egresados en los sistemas universitarios de Galicia y Madrid, como a alumnos procedentes de otras comunidades autónomas y de otros países (éstos últimos supusieron, en media, a lo largo de los últimos tres años de funcionamiento, un 28% del total de alumnos del programa), sin descartar la posible incorporación de técnicos de empresas o industrias que, realizando su labor en departamentos de I+D+i, busquen completar su formación en este campo.

Es importante hacer notar la escasa oferta de un Másteres multidisciplinarios de estas características a nivel nacional. Si bien es cierto que existen programas con denominaciones parecidas, los enfoques son esencialmente distintos (excluyendo, obviamente, a los programas que esta propuesta unifica). En particular, y en línea con algunas iniciativas recientes a nivel europeo, los grupos proponentes tienen una relación estrecha y continuada con empresas de un amplio abanico de sectores industriales, de modo que están en condiciones de identificar carencias y oportunidades. Desde esta visión, en el programa que se propone se abordan de modo muy equilibrado la modelización y la simulación numérica, y se han descartado cursos de interés puramente académico, enfatizando, en cambio, cursos que cubran los aspectos más relevantes con vistas al uso de las Matemáticas en el mundo industrial/empresarial. Se pretende con ello paliar, al menos en parte, la obvia falta de tradición en incorporar personal con un perfil centrado en labores de I+D+i en pequeñas y medianas (e incluso grandes) empresas, desde un punto de vista que cuestiona la rentabilidad de contratar estos perfiles. Por ello, es esencial que los egresados estén en condiciones de realizar una labor eficaz casi desde el primer día, y que tengan capacidad de interaccionar de modo natural con técnicos e ingenieros. Con ello se pretende contribuir a paliar una de las deficiencias más obvias del sistema español de ciencia y tecnología, lo cual es especialmente

relevante, desde el punto de vista estratégico, en el escenario socio-económico actual y previsible a medio plazo.

De este modo, teniendo en cuenta además el número de alumnos matriculados durante los últimos cursos en el Máster en Matemática Industrial de la Universidad Carlos III de Madrid y en el Máster en Ingeniería Matemática de las Universidades de Santiago de Compostela, A Coruña y Vigo, se espera contar con una demanda cercana a los 50 alumnos en el primer año de impartición, que irá aumentando de modo natural en los años sucesivos.

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

#### **Referentes internacionales**

Los siguientes centros, organizaciones, redes, instituciones de transferencia de conocimiento y sistemas educativos se han ordenado alfabéticamente por país. La información utilizada sobre su establecimiento, principios, estructura, programa y actividades se encuentra en sus sitios web. Asimismo, se han considerado todas las universidades europeas que ofertan, o están en trámite de ofertar, un Máster específico en Matemática Industrial dentro del sistema educativo del consorcio ECMI, incluyendo preferentemente las del proyecto ECMIMIM. Estas universidades son todas ellas referentes de calidad contrastada. Por tanto, para elaborar la propuesta se han tenido en cuenta los siguientes referentes:

#### **A. Centros establecidos de investigación con proyección internacional en la temática del Máster de Matemática Industrial**

**CSIRO** (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation)  
<http://www.csiro.au/org/ps6d.html> (Australia)

**RICAM** (Radon Institute for Computational and Applied Mathematics) Austrian Academy of Sciences (Austria) - <http://www.ricam.oeaw.ac.at/>

**SCOMA** (Center for Scientific Computing and Optimization in Multidisciplinary Applications)  
<http://www.mit.jyu.fi/scoma/> (Finland)

**CERFACS** (European Centre for Research and Advanced Training in Scientific Computation)  
<http://www.cerfacs.fr/> (France)

**INRIA** Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique - <http://www.inria.fr/> (France)

**ZIB** (Konrad-Zuse-Center for Information Technology) - <http://www.zib.de/> (Germany)

**WIAS** (Weierstraß-Institute for Applied Analysis and Stochastics) - <http://www.wias-berlin.de/> (Germany)

**MATHEON** (DFG Centre "Mathematics for Key Technologies") - <http://www.matheon.fu-berlin.de/> (Germany)

**IWR** (Interdisciplinary Center for Scientific Computing) - <http://www.iwr.uni-heidelberg.de/> (Germany)

**ADAMSS** (Advanced Applied Mathematical and Statistical Sciences) (formerly MIRIAM) <http://www.mat.unimi.it/users/miriam/> (Italy)

**MOX** (Modelling and Scientific Computing) - <http://mox.polimi.it/it/progetti/indexpro.php?en=en> (Italy)

**CASA** (Centre for Analysis, Scientific computing and Applications) - <http://www.win.tue.nl/casa/> (Netherlands)

**CMA** (Mathematics for Applications) - <http://www.cma.uio.no/> (Norway)

**ICM** (Interdisciplinary Centre for Mathematical and Computational Modelling) <http://www.icm.edu.pl/eng/> (Poland)

**OCIAM** (The Oxford Centre for Industrial and Applied Mathematics) <http://www2.maths.ox.ac.uk/ociam/> (United Kingdom)

**IMA** (Institute for Mathematics and Its Applications) - <http://www.ima.umn.edu/> (United States)

**Mathematics Clinic** (Harvey Mudd College, United States) - <http://www.math.hmc.edu/clinic/> (United States)

**IPAM** (Institute for Pure and Applied Mathematics) - <http://www.ipam.ucla.edu/default.aspx> (United States)

**SAMSI** (Statistical and Applied Mathematical Sciences Institute) - <http://www.samsi.info/> (United States)

**DIMACS** (Center for Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science) <http://dimacs.rutgers.edu/> (United States)

**NISS** (National Institute of Statistical Science) - <http://www.niss.org/> (United States)

## **B. Organizaciones y redes con proyección internacional en la temática del Máster de Matemática Industrial**

**ECMI** (European Consortium for Mathematics in Industry) - <http://www.ecmi-indmath.org/>

**ECMI** Special Interest Groups - <http://www.ecmi-indmath.org/info/index.php>

**ECMI** Educational Programmes: ideas básicas de los programas de Máster de Matemática Industrial que ofrecen universidades europeas del ECMI y links a las mismas  
<http://www.ecmi-indmath.org/edu/index.php>

**ESGI** (International Study Groups for Mathematics in Industry) - <http://www.math-in-industry.org/>

**ECCOMAS** (European Community on Computational Methods in Applied Sciences)  
<http://www.eccomas.org/>

**KTN** (Knowledge Transfer Network for Industrial Mathematics) [www.industrialmaths.net](http://www.industrialmaths.net)

“**Mathematics in Industry**”, red patrocinada por el gobierno alemán - <http://www.mathematik-21.de/>

**MACSI** (Mathematics Applications Consortium for Science and Industry) - <http://www.macsi.ul.ie/>

**MITACS** (Mathematics of Information Technology and Complex Systems)  
<http://www.mitacs.math.ca/index.htm> (Canada)

### **C. Instituciones de transferencia de conocimiento entre Universidad e Industria en la temática del Máster de Matemática Industrial**

**I2T3** (Innovazione Industriale Tramite Trasferimento Tecnologico) - <http://www.i2t3.unifi.it/> (Italy)

**IFIM** (Institute for Industrial Mathematics) - <http://ifim.uni-paderborn.de/> (Germany)

**IMCC** (Industrial Mathematics Competence Center) - <http://www.mathconsult.co.at/imcc/> (Austria)

**ITWM** Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik - <http://www.itwm.fhg.de> (Germany)

(Swedish dependence: Fraunhofer Chalmers Research Centre for Industrial Mathematics (**FCC**), Goteborg, first European joint venture of the Fraunhofer-Society)

**Math-in.net** Red Española Matemática-Industria - <http://www.math-in.net/> (España)

**SINTEF**-Applied Mathematics - [http://www.sintef.no/content/page3\\_342.aspx](http://www.sintef.no/content/page3_342.aspx) (Norway)

**Smith Institute** for Industrial Mathematics and System Engineering - [www.smithinst.co.uk](http://www.smithinst.co.uk) (United Kingdom)

#### **D. Referentes internacionales del Máster de Matemática Industrial**

Consortio Europeo de Matemática Industrial (ECMI): la descripción del programa educativo en Matemática Industrial del ECMI (nivel máster) y links a las universidades participantes en el mismo se encuentran en:

<http://www.ecmi-indmath.org/edu/index.php>

ESIM (Escuela Europea de Matemática Industrial financiada por Erasmus Mundus en la que participan las universidades de Eindhoven, Kaiserslautern y Linz, nivel Máster):

<http://www.win.tue.nl/esim/>

Johannes Kepler University (Linz, Austria): Es la única universidad austríaca que ofrece un programa de cinco años (Bachelor + Master) en Matemática Industrial. El programa de Máster Europeo en Matemática Industrial está integrado en el ESIM y es un nodo del ECMI. La descripción detallada se encuentra en su Instituto de Matemática Industrial: <http://www.indmath.uni-linz.ac.at/>

Technical University of Graz (Graz, Austria): Tiene una Facultad de Matemática y Física Industrial. Es un nodo del ECMI. Los programas educativos se encuentran en: [https://online.tug-graz.ac.at/tug\\_online/webnav.ini](https://online.tug-graz.ac.at/tug_online/webnav.ini)

Technical University of Denmark (Lyngby, Denmark). Ofrece un programa de Máster en Modelización Matemática y Computación y es un nodo del ECMI. Ver: <http://www.dtu.dk/subsites/mmc-master.aspx>

Lappeenranta University of Technology (Lappeenranta, Finland): Es un nodo del ECMI y colabora con una red de 7 universidades de Rusia y Finlandia. Ofrece un programa bianual de Máster especializado en Tecnomatemática en que se tratan problemas reales de la industria. La información completa se encuentra en: [http://www.it.lut.fi/mat/international\\_studies/](http://www.it.lut.fi/mat/international_studies/)

École des Mines de Paris (Mines ParisTech, Paris, France): Ofrecen varios programas de Máster para estudiantes internacionales además del título tradicional de ingeniero de Minas para estudiantes de Grandes Escuelas. Está en el proceso de implementar un Máster de Matemática Industrial siguiendo los resultados del proyecto ECMIMIM. Ver: <http://www.ensmp.fr/Eng/index.html>

Université Joseph Fourier Grenoble (Grenoble, France): Ofrece tres Máster de Matemáticas y está en el proceso de implementar uno de Matemática Industrial siguiendo los resultados del proyecto ECMIMIM. Ver: <http://www-fourier.ujf-grenoble.fr/>

Technical University of Dresden (Dresden, Germany): Ofrece un programa de cinco años en Matemáticas, está en el proceso de implementar un Máster de Matemática Industrial siguiendo los resultados del proyecto ECMIMIM y es un nodo del ECMI. Ver: <http://tu->



[dresden.de/die\\_tu\\_dresden/fakultaeten/fakultaet\\_mathematik\\_und\\_naturwissenschaften/fac\\_hrichtung\\_mathematik](http://dresden.de/die_tu_dresden/fakultaeten/fakultaet_mathematik_und_naturwissenschaften/fac_hrichtung_mathematik)

Technical University of Kaiserslautern (Kaiserslautern, Germany): Ofrece dos programas de Máster en Matemática Industrial, uno en Tecno-matemática y otro en Econo-matemática, dependiendo de la orientación de los estudiantes. Está integrada en el ESIM y es un nodo del ECMI. La descripción detallada se encuentra en: [http://www.mathematik.uni-kl.de/CDindex\\_e.html](http://www.mathematik.uni-kl.de/CDindex_e.html)

University of Milan (Milan, Italy): Ofrece dos programas trienales (Bachelor) y dos quinquenales (Laurea Magistrale) en Matemática y en Matemática para las Aplicaciones. Dentro de este último programa hay una especialización en Matemática Industrial integrada en el sistema ECMI. Ver: <http://www.scienzefn.unimi.it/>

Technical University of Eindhoven (Eindhoven, Netherlands): Ofrece un programa bianual de Máster en Matemática Industrial con tres orientaciones hacia la técnica, las comunicaciones e información y las finanzas. Está integrada en el ESIM y es un nodo del ECMI. Ver: <http://www.win.tue.nl/oww/>

The Norwegian University of Science and Technology (Trondheim, Norway): Ofrece un programa internacional de Máster en Matemáticas y uno nacional en Matemática Industrial. Es un nodo del ECMI. Ver: <http://www.ntnu.no/english/>

Wroclaw University of Technology (Wroclaw, Poland): Acaba de incorporarse al sistema ECMI y está en el proceso de implementar un Máster en Matemática Industrial. Ver: <http://www.im.pwr.wroc.pl/ecmi/>

Universidad Autónoma de Barcelona (Barcelona, Spain): Está en el proceso de implementar un Máster de Matemática Industrial siguiendo los resultados del proyecto ECMIMIM y es un nodo del ECMI. Ver: <http://www.uab.es/>

Chalmers University/University of Gothenburg (Gothenburg, Sweden): Ofrece un programa bianual con una especialización en Matemática Industrial. Es un nodo del ECMI. Ver: <http://www.chalmers.se/math/EN/>

Lund University (Lund, Sweden): Ofrece programas bianuales de Máster en Matemáticas y Tecno-matemáticas. Desde ambos programas se ofrece una orientación de Matemática Industrial afiliada con el sistema ECMI, del que es un nodo y participa en el proyecto ECMIMIM. Ver: <http://www.maths.lth.se/>

University of Bristol (Bristol, United Kingdom): Ofrece estudios de grado y Máster en Engineering Mathematics y está asociada a la Universidad de Oxford en el sistema ECMI. Ver: <http://www.enm.bris.ac.uk/>

Oxford Centre for Industrial and Applied Mathematics (University of Oxford, United Kingdom): Ofrece dos programas de Máster, uno en Modelización Matemática y Computación Científica y el otro en Matemática Financiera. OCIAM es un nodo del ECMI y participa en el proyecto ECMIMIM. Ver: <http://www2.maths.ox.ac.uk/ociam/>

University of Strathclyde (Glasgow, United Kingdom): Ofrece un programa anual de Máster dentro del cual hay una especialidad de Matemática Industrial. Participa en un programa de estudios de posgrado con otras 6 universidades escocesas. Es un nodo del ECMI. Ver: <http://www.maths.strath.ac.uk/>

### **Otros referentes internacionales relacionados con la temática del Máster de Matemática Industrial**

El informe de la OCDE sobre MATEMÁTICA INDUSTRIAL en los países de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), publicado en: <http://www.oecd.org/sti/gsf>, constituye una referencia muy relevante.

En este informe se hace un análisis de la utilidad de la Matemática Industrial en la industria y el mundo académico y se resalta la necesidad de establecer mecanismos de cooperación entre ambos. Comenzando con un estudio de la situación actual de la Matemática Industrial en los países de la OCDE, desde distintas perspectivas (industria, academia) y de los mecanismos de cooperación ya existentes, el informe culmina con un conjunto de conclusiones y recomendaciones, entre las cuales destacamos por su interés en este Máster, las relativas a educación y formación, que son las siguientes:

#### **“5.2 Education and Training**

A partnership between mathematics and industry, as envisaged by the workshop participants and proposed in the present report, requires adjustments of the curriculum for students of mathematics who are interested in and motivated by industrial problems. The adjustments should be considered with care. The curriculum should not become a “light” version of the accepted curriculum for future researchers, and the students will need to be familiar with the standard canon of the discipline. The workshop participants recommended several steps for consideration:

- Developing curriculum options that prepare the students for a career at the interface of mathematics and industry. Curricula should reflect the reality that such a career requires both a solid background in mathematics and the intellectual curiosity to go beyond mathematics. The curriculum should be flexible but subject to rigorous quality control. It should stress innovative applications of mathematics, highlight problems that are industry-driven, and encourage students to broaden their scientific interests. Above all, it should be

designed to demonstrate that the interaction of mathematics and industry leads to exciting research opportunities and benefits.

- Creating opportunities for research participation at the undergraduate and graduate level. Early exposure whets the appetite, and provides hands-on experience. The mechanisms may include industrial internships, modelling camps, and summer schools.”

Asimismo el informe cita al ECMI, su programa educativo y sus grupos de investigación como ejemplos de organización y cooperación internacionales en el ámbito de la Matemática Industrial (Sección A.3).

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

### **a) Procedimientos de consulta internos**

En la elaboración de la propuesta por parte de las Universidades participantes, se ha propiciado la participación y consulta de los diferentes colectivos de las correspondientes comunidades universitarias.

El proceso de elaboración de la propuesta se ha desarrollado en dos etapas. En una primera etapa se debatió en el seno de cada una de las Universidades participantes la oportunidad de elaborar una propuesta de Máster Universitario que, por un lado, aprovechara la experiencia del Máster en Matemática Industrial de la Universidad Carlos III de Madrid y el Máster en Ingeniería Matemática de las Universidades de Santiago de Compostela, A Coruña y Vigo, y, al mismo tiempo, incorporase a la Universidad Politécnica de Madrid. Como resultado de estos debates, se decidió poner en marcha el proceso de elaboración de una propuesta, para lo cual se formó una comisión formada por delegados de cada una de las Universidades. Dicha comisión quedó formada por los profesores Alfredo Bermúdez de Castro (Universidad de Santiago de Compostela), Carlos Vázquez Cendón (Universidad de A Coruña), José Durany Castrillo (Universidad de Vigo), Luis López Bonilla (Universidad Carlos III de Madrid), José Manuel Vega de Prada (Universidad Politécnica de Madrid) y Fernando Varas Mérida (Universidad Politécnica de Madrid). Al incorporarse a la coordinación del Máster en Ingeniería Matemática en las USC, Elena Vázquez Cendón en mayo de 2012, se incorporó también a la comisión redactora.

La segunda etapa del procedimiento se desarrolló a través de varias reuniones de la comisión preparatoria. En estas reuniones, se fueron alcanzando los siguientes objetivos:

1. **Primera reunión.** Planteamiento inicial y definición básica de la propuesta.

2. **Segunda reunión.** Desarrollo de una propuesta de intenciones con la que presentar la idea en las cinco universidades.
3. **Tercera reunión.** Redacción de un primer borrador de memoria de Máster y de los contenidos académicos, y preparación de las consultas a varias empresas de los sectores industriales con los que los grupos proponentes mantienen relación fluida, así como a departamentos de las cinco universidades.
4. **Cuarta reunión.** Adecuación de los objetivos y alcance del Master, de acuerdo con los resultados de las consultas. Replanteamiento del borrador de Memoria y adaptación de los contenidos en términos de materias, para dar una mayor flexibilidad a la propuesta.
5. **Quinta reunión.** Aprobación de la propuesta final de Memoria, y preparación de los del resto del proceso de consulta interno.

Siguiendo los procesos establecidos en las cinco universidades proponentes, de ser necesario, en cada una de las universidades se contó con:

1. Informe favorable de todos los departamentos involucrados.
2. Informe favorable de todas las Juntas de Escuela o Facultad involucradas.
3. Aprobación de la propuesta por parte de las Juntas de Gobierno y los Consejos de Gobierno de las universidades.

#### **b) Procedimientos de consulta externos**

La propuesta del Máster Interuniversitario en Matemática Industrial es el resultado de un consenso con los restantes socios del proyecto ECMIMIM, que es una iniciativa financiada por la Unión Europea dentro del programa Erasmus Curriculum Development (LifeLong Learning Programme), y en la que participan otras ocho universidades europeas además de la Universidad Carlos III de Madrid. Por tanto, cumple los requisitos establecidos por consenso entre los participantes en el proyecto europeo:

Universidad de Dresde, Alemania

Universidad Autónoma de Barcelona, España

Universidad Carlos III de Madrid

Universidad de Tartu, Estonia

Universidad de Lappeenranta, Finlandia.

Escuela de Minas de París, Francia

Universidad de Milan, Italia.

Universidad de Oxford, Reino Unido.

Universidad de Lund, Suecia.

Por otro lado, la elaboración de la actual propuesta de Máster ha tenido en cuenta las aportaciones del sector industrial a través de varias vías:

- consultas explícitas a algunas empresas clave (como EADS o Airbus) durante el propio proceso de elaboración de la propuesta.
- resultados de la interacción del Máster en Ingeniería Matemática de las Universidades de Santiago de Compostela, A Coruña y Vigo con las empresas y centros tecnológicos colaboradores con dicho Máster (en la actualidad representan un total de más de cincuenta organismos, que van desde pequeñas y medianas empresas a grandes corporaciones).
- opiniones y observaciones remitidas por las empresas participantes en las jornadas European Summer School in Industrial Mathematics / Modelling Weeks organizadas por ECMI, en las que ha participado activamente la Universidad Carlos III de Madrid.

### 3. OBJETIVOS

#### **Objetivos generales del programa**

El objetivo general del Máster Interuniversitario en Matemática Industrial es formar profesionales que sean capaces de desempeñar adecuadamente el ejercicio profesional en el desarrollo y aplicación de las tecnologías matemáticas en el ámbito de la Industria. El Máster está orientado a la formación avanzada, con carácter multidisciplinar, con una formación básica suficiente, de modo que se permita alcanzar tanto una especialización académica y/o profesional como la iniciación en tareas investigadoras. Todo ello promoviendo los derechos fundamentales y de igualdad de oportunidades entre hombres y mujeres, los principios de igualdad de oportunidades y accesibilidad universal de las personas con discapacidad y los valores propios de una cultura de la paz y de valores democráticos.

El programa pretende que los alumnos adquieran conocimientos avanzados sobre esta disciplina, dominando un conjunto de principios teóricos, métodos científicos y herramientas formales, que les capaciten para llevar a cabo trabajos de investigación, desarrollo e innovación en esta área. Se busca un enfoque flexible, de modo que se promueva su adaptación a un entorno tan rápidamente cambiante como es el de la Matemática Industrial.

Para alcanzar estos objetivos, un estudiante que finalice la titulación de Máster Interuniversitario en Matemática Industrial debería ser capaz de aproximarse a cualquier problema industrial con rigor

científico, aprovechando todos los conocimientos, habilidades y actitudes necesarias dentro de nuestro ámbito de estudio, pero simultáneamente siendo conscientes de que su aplicación práctica tiene unas consecuencias que afectan a la sociedad, incluyendo la dimensión ética.

### **Competencias básicas que los estudiantes deben adquirir durante sus estudios (establecidas por el RD 861/2010)**

#### **3.1 Competencias generales y específicas**

##### **Competencias generales**

CG1 Poseer conocimientos que aporten una base u oportunidad de ser originales en el desarrollo y/o aplicación de ideas, a menudo en un contexto de investigación, sabiendo traducir necesidades industriales en términos de proyectos de I+D+i en el campo de la Matemática Industrial;

CG2 Saber aplicar los conocimientos adquiridos y su capacidad de resolución de problemas en entornos nuevos o poco conocidos dentro de contextos más amplios, incluyendo la capacidad de integrarse en equipos multidisciplinares de I+D+i en el entorno empresarial;

CG3 Ser capaz de integrar conocimientos para enfrentarse a la formulación de juicios a partir de información que, aun siendo incompleta o limitada, incluya reflexiones sobre las responsabilidades sociales y éticas vinculadas a la aplicación de sus conocimientos;

CG4 Saber comunicar las conclusiones, junto con los conocimientos y razones últimas que las sustentan, a públicos especializados y no especializados de un modo claro y sin ambigüedades;

CG5 Poseer las habilidades de aprendizaje que les permitan continuar estudiando de un modo que habrá de ser en gran medida autodirigido o autónomo, y poder emprender con éxito estudios de doctorado.

##### **Competencias específicas**

CE1: Alcanzar un conocimiento básico en un área de Ingeniería/Ciencias Aplicadas, como punto de partida para un adecuado modelado matemático, tanto en contextos bien establecidos como en entornos nuevos o poco conocidos dentro de contextos más amplios y multidisciplinares.

CE2: Modelar ingredientes específicos y realizar las simplificaciones adecuadas en el modelo que faciliten su tratamiento numérico, manteniendo el grado de precisión, de acuerdo con requisitos previamente establecidos.

CE3: Determinar si un modelo de un proceso está bien planteado matemáticamente y bien formulado desde el punto de vista físico.

CE4: Ser capaz de seleccionar un conjunto de técnicas numéricas, lenguajes y herramientas informáticas, adecuadas para resolver un modelo matemático.

CE5: Ser capaz de validar e interpretar los resultados obtenidos, comparando con visualizaciones, medidas experimentales y/o requisitos funcionales del correspondiente sistema físico/de ingeniería.

## 4. ACCESO Y ADMISIÓN DE ESTUDIANTES

### 4.1 Sistemas de información previa a la matriculación y procedimientos de acogida accesibles y orientación de los estudiantes de nuevo ingreso para facilitar su incorporación a la universidad y a la titulación

La **Universidad de Santiago de Compostela**, coordinadora del máster, elabora anualmente la oferta de titulaciones oficiales según la normativa vigente. Para conformar la oferta de programas de máster se realiza una primera fase de consulta a las comisiones académicas de dichos programas con el fin de determinar el número de plazas, cupos para estudiantes con titulaciones extranjeras, así como los posibles criterios específicos de admisión complementarios a los indicados en la memoria de la titulación. Estas propuestas serán evaluadas de acuerdo con la normativa de la Universidad y sometidas a la aprobación de sus órganos de gobierno.

Una vez aprobada, la oferta de programas de másteres será difundida a través de:

- a) Página web de la Universidad con la oferta de másteres oficiales (<http://www.usc.es/gl/titulacions/pop>)
- b) Oficina de Información Universitaria ([www.usc.es/oiu](http://www.usc.es/oiu))
- c) Gabinete de Comunicación (<http://www.usc.es/es/servizos/comunicacion/>)

Los procedimientos en las universidades participantes en el máster son similares, indicamos para cada una de ellas la web institucional a través de la cual se difunde la oferta de los programas de máster.

**UDC:** La información relativa a los programas de máster se difunde a través de la página web institucional:

<http://www.udc.es/ensino/mestrados/>

**UVIGO:** La información relativa a los programas de máster se difunde a través de la página web institucional:

[http://webs.uvigo.es/vicprof/index.php?option=com\\_content&task=view&id=2583&Itemid=719&lang=es](http://webs.uvigo.es/vicprof/index.php?option=com_content&task=view&id=2583&Itemid=719&lang=es)

**UC3M:** La información relativa a los programas de máster se difunde a través de la página web institucional:

[http://www.uc3m.es/portal/page/portal/postgrado\\_mast\\_doct/masters](http://www.uc3m.es/portal/page/portal/postgrado_mast_doct/masters)

**UPM:** La información relativa a los programas de máster se difunde a través de la página web institucional:

[http://www.upm.es/institucional/Estudiantes/Estudios\\_Titulaciones/Estudios\\_Master](http://www.upm.es/institucional/Estudiantes/Estudios_Titulaciones/Estudios_Master)

Las universidades participantes colaborarán en el diseño, creación y mantenimiento de una **web del máster** que permitirá unificar el acceso a la información de todos los profesores, estudiantes y empresas participantes. Se incluirán los correspondientes enlaces a las páginas web institucionales de las universidades participantes. Se informará de las condiciones de acceso, la información administrativa, el cuadro de profesorado, un calendario anual, información sobre ayudas y becas, organización tutorial y otra información relevante.

La experiencia de canalización conjunta de la información, en las universidades gallegas, está en el sitio web diseñado en forma de preguntas frecuentes que los estudiantes se plantean antes de iniciar sus estudios de máster: <http://www.dma.uvigo.es/master/faq.php>

Las preguntas están clasificadas en las siguientes temáticas:

- la identidad del Máster
- el proceso de matrícula
- organización docente y convalidaciones
- prácticas y movilidad
- salidas profesionales
- entrevistas e información en los medios

En el caso de este Máster, la **Comisión Académica** también coordinará la divulgación de la información sobre el mismo a través de:

- Jornadas informativas dirigidas a estudiantes de grado y máster en las cinco universidades participantes.
- Los medios de comunicación y en Ferias y Exposiciones acerca de la oferta docente de Universidades y Centros de Enseñanza Superior.
- Foros específicos de Internet relacionados con el mundo académico. Por ejemplo: <http://www.universia.es>, <http://www.emagister.com>
- Los sitios web de los Departamentos y/o grupos de investigación implicados en el máster.
- Las empresas colaboradoras del máster. Como ya se mencionó existe demanda de formación entre el personal técnico de empresas o industrias que están realizando su labor en departamentos de I+D+i.
- Los centros de enseñanzas medias.
- Las universidades.
- Las sociedades científicas nacionales e internacionales relacionadas con la temática de máster.



- Listas de distribución para el alumnado de las universidades participantes en el programa de máster.

## **Estudiantes con necesidades especiales**

### **USC**

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.

El Servicio de Participación e Integración Universitaria (SEPIU) de la Universidad de Santiago de Compostela, en colaboración con los distintos centros y entidades, se encargará de la coordinación y puesta en marcha de las actuaciones necesarias para favorecer la igualdad y equidad entre todos los miembros de la comunidad universitaria. Al mismo tiempo, y en colaboración con otros servicios de la propia Universidad o de otras entidades con las que existen convenios de colaboración, se trabajará para favorecer la incorporación sociolaboral de los futuros egresados y egresadas.

El SEPIU desarrolla su actividad mediante las siguientes acciones:

- Apoyo a estudiantes con discapacidad
- Adaptaciones curriculares
- Programa de alojamiento de estudiantes con discapacidad
- Programa de eliminación de barreras arquitectónicas
- Centro de Documentación para la Vida Independiente
- Becas

Una información más amplia se puede encontrar en la página de dicho Servicio:

<http://www.usc.es/es/servizos/sepiu/integracion.html>

### **UDC**

Unidad Universitaria de Atención a la Diversidad (ADI)

<http://www.udc.es/cufie/uadi/>

La Unidad Universitaria de Atención a la Diversidad (ADI) prestará la colaboración necesaria a la Comisión Académica del Máster para valorar cada situación y adoptar, en su caso, las medidas que resulten pertinentes.

Tanto el edificio que alberga la Facultad en la que se impartirá el Máster, como otros servicios de la UDC, observan los criterios de accesibilidad universal y diseño para todos, según lo dispuesto en la Ley 51/2003, de 2 de diciembre, de igualdad de oportunidades, no discriminación y accesibilidad universal de las personas con discapacidad.

## **UVIGO**

Programa de apoyo a la integración de universitarios con necesidades especiales (PIUNE)

[http://www.uvigo.es/uvigo\\_es/administracion/extension/funcions/siope/discapacidade/piune/index.html](http://www.uvigo.es/uvigo_es/administracion/extension/funcions/siope/discapacidade/piune/index.html)

dentro del Servicio de Información (SIOPE): Sección de Información, Orientación, Promoción del Estudiante Voluntariado e Discapacidad:

[http://www.uvigo.es/uvigo\\_es/administracion/extension/funcions/siope](http://www.uvigo.es/uvigo_es/administracion/extension/funcions/siope)

## **UPM**

Unidad de Atención a la Discapacidad depende del Vicerrectorado de Alumnos

<http://www.upm.es/institucional/UPM/CompromisoSocial/UnidadAtencionDiscapacidad>

## **UC3M**

Unidad de Atención a la Discapacidad

<http://www.upm.es/institucional/UPM/CompromisoSocial/UnidadAtencionDiscapacidad>

### **4.2 Criterios de acceso y condiciones o pruebas de acceso especiales**

El artículo 16 del Real Decreto 1393/2007 (modificado por el R.D. 861/2010 de 2 de julio) establece que para acceder a las enseñanzas oficiales de Máster será necesario estar en posesión de un título universitario oficial español u otro expedido por una institución de educación superior perteneciente a otro Estado integrante del Espacio Europeo de Educación Superior que facultan en el mismo para el acceso a enseñanzas de Máster.

A esto, el Real Decreto 861/2010, de 2 de julio, lo modifica en los siguientes términos:

1. Para acceder a las enseñanzas oficiales de Máster será necesario estar en posesión de un título universitario oficial español u otro expedido por una institución de educación superior perteneciente a otro Estado integrante del Espacio Europeo de Educación Superior que faculte en el mismo para el acceso a enseñanzas de Máster.

La admisión de titulados extranjeros se hará conforme a lo dispuesto en el artículo 3.2 del RD56/2005, el artículo 16 del RD 1393/2007 y su modificación en el RD 861/2010.

Asimismo, podrán acceder los titulados conforme a sistemas educativos ajenos al EEES sin necesidad de la homologación de sus títulos, previa comprobación por parte de la Comisión Académica del Máster y de las Universidades de que aquellos acreditan un nivel de formación equivalente a los correspondientes títulos universitarios oficiales españoles y que en el país expedidor del título facultan para el acceso a enseñanzas de postgrado. El acceso por esta vía no implicará, en ningún caso, la

homologación del título previo de que esté en posesión el interesado, ni su reconocimiento a otros efectos que el de cursar el máster cuya propuesta defiende esta memoria.

## **Criterios de acceso**

### **Titulaciones recomendadas:**

Para las titulaciones elaboradas al amparo del RD 1393/2007, de 29 de octubre, de Ordenación de las Enseñanzas Universitarias, se recomienda el siguiente perfil de los candidatos a estudiar el Máster Interuniversitario en Matemática Industrial:

- Graduados del área de Ingeniería y Arquitectura
- Graduados del área de Ciencias y graduados en Economía y Administración de Empresas.

Para las titulaciones previas al RD 1393/2007, de 29 de octubre, de Ordenación de las Enseñanzas Universitarias Oficiales, se recomienda siguiente perfil de los candidatos a estudiar el Máster Interuniversitario en Matemática Industrial:

- Ingenieros Técnicos o Superiores.
- Licenciados en Ciencias, especialmente Matemáticas, Física, Química y Biología.
- Licenciados en Económicas y Administración de Empresas.

La priorización de los candidatos, en cada una de las universidades participantes, será por expediente académico, atendiendo al orden de preferencia de las titulaciones recomendadas, para el caso en que el número de preinscritos en el Máster supere el número de plazas disponibles.

**Criterio de valoración de méritos para la admisión en el máster:** expediente académico

### **Orden de preferencia de las titulaciones:**

1. Titulados - licenciados o graduados - en Matemáticas, Física e Ingeniería.
2. Si quedan vacantes, resto de titulaciones de las grandes áreas de Ingeniería y Arquitectura, y Ciencias.
3. Si aún quedasen vacantes, titulados –licenciados o graduados- en Economía y Administración de Empresas.

## **Composición de la Comisión Académica del Máster**

La Comisión Académica estará formada por los responsables del título en cada una de las Universidades participantes. En el caso de la Universidad coordinadora, ésta nombrará un segundo miembro en la Comisión Académica de modo que el responsable del título en dicha universidad coordinadora pase a actuar como coordinador general del Máster.

De acuerdo con lo anterior, la composición inicial de la Comisión Académica del Máster estaría formada por

D. Alfredo Bermúdez de Castro López Varela (USC), coordinador del Máster en Matemática Industrial

D. Carlos Vázquez Cendón, responsable del Máster en Matemática Industrial en la Universidad de A Coruña

D. José Durany Castrillo, responsable del Máster en Matemática Industrial en la Universidad de Vigo

D. Luis López Bonilla, responsable del Máster en Matemática Industrial en la Universidad Carlos III de Madrid

D. José Manuel Vega de Prada, responsable del Máster en Matemática Industrial en la Universidad Politécnica de Madrid

Dña. M. Elena Vázquez Cendón, responsable del Máster en Matemática Industrial en la Universidad de Santiago de Compostela

### **Pruebas de acceso especiales**

No se establece ninguna prueba de acceso especial para este Máster.

### **4.3 Sistemas de apoyo y orientación de los estudiantes una vez matriculados**

#### **Actividades de acogida en el máster:**

- Jornada de acogida a nuevos estudiantes que ingresen en el máster
- Apoyo en la gestión de la documentación o realización de trámites
- Información de actividades extracurriculares

Como ya se mencionó, en el sitio web del máster se canalizará toda la información relativa al máster, además los coordinadores de las universidades participantes orientarán a los estudiantes.

Se establecerá un sistema de tutorización personalizada de los estudiantes. La Comisión Académica del Máster asignará los tutores académicos a los estudiantes.

Bajo la supervisión de la Comisión Académica del Máster existirá un coordinador/tutor de los estudios en programas de movilidad que orientará los contratos de estudios y realizará el seguimiento de los cambios y del cumplimiento de los mismos.

#### **Sistema de información en la USC, universidad coordinadora.**

La página web de la USC, en sus distintos apartados, informa a los futuros estudiantes de los distintos servicios disponibles en la USC:

- Servicio Universitario de Residencias (SUR): <http://www.usc.es/es/servizos/sur/index.html>
- Comedores y cafeterías universitarias: <http://www.usc.es/es/servizos/cafeterias/>

- Biblioteca Universitaria: <http://www.usc.es/gl/servizos/biblioteca/>
- Centro de Lenguas Modernas: <http://www.usc.es/es/servizos/clm/index.html>
- Fonoteca: <http://www.usc.es/es/servizos/fonoteca/index.html>
- Servicios de Apoyo al Emprendimiento y al Empleo:  
<http://www.usc.es/es/servizos/saee/index.html>

#### **Sistema de información en la UDC:**

- El SAPE (Servicio de asesoramiento y promoción del estudiante):  
[http://www.udc.es/sape/index\\_sape.htm](http://www.udc.es/sape/index_sape.htm)
- La ORI (Oficina de Relaciones Internacionales) participa en ferias internacionales especializadas en estudios de máster y doctorado.

#### **Sistema de información en UVIGO:**

- Guía Rápida del Estudiante: [http://www.uvigo.es/uvigo\\_gl/administracion/alumnado/matricula](http://www.uvigo.es/uvigo_gl/administracion/alumnado/matricula)
- Empleo:  
<http://emprego.uvigo.es/>
- Guía del estudiante extranjero:  
[http://www.uvigo.es/opencms/export/sites/uvigo/uvigo\\_gl/DOCUMENTOS/alumnado/posgrao/convocatoria\\_admisixn\\_estranxeiros\\_2012\\_2013.pdf](http://www.uvigo.es/opencms/export/sites/uvigo/uvigo_gl/DOCUMENTOS/alumnado/posgrao/convocatoria_admisixn_estranxeiros_2012_2013.pdf)

#### **Sistema de información en la UC3M:**

- Información práctica:  
[http://www.uc3m.es/portal/page/portal/postgrado\\_mast\\_doct/Informacion\\_practica](http://www.uc3m.es/portal/page/portal/postgrado_mast_doct/Informacion_practica)

#### **Sistema de información en la UPM:**

- Alojamiento para estudiantes:  
<http://www.upm.es/institucional/Estudiantes/Atencion/AlojamientoEstudiantes,+Bolsa+de+vivienda%29>
- Tramitación de visados:  
<http://www.upm.es/institucional/Estudiantes/Atencion/TramitacionVisados>
- Seguro de asistencia. <http://www.upm.es/institucional/Estudiantes/Atencion/SeguroAsistencia>
- Guía para Estudiantes Extranjeros  
<http://www.upm.es/institucional/Estudiantes/Atencion/GuiaExtranjeros>

- Consultoría y Asistencia Técnica para el Apoyo y Asesoramiento Psicológico:  
<http://www.upm.es/institucional/Estudiantes/Atencion/ApoyoAsesoramientoPpsicologico>

#### **4.4 Transferencia y reconocimiento de créditos: sistema propuesto por la universidad**

La **Universidad de Santiago de Compostela**, cuenta con una “Normativa de transferencia y reconocimiento de créditos para titulaciones adaptadas al Espacio Europeo de Educación Superior”, aprobada por su Consejo de Gobierno el 14 de marzo de 2008, de cuya aplicación son responsables el Vicerrectorado con competencias en oferta docente y la Secretaría General con los Servicios de ellos dependientes: Servicio de Gestión de la Oferta y Programación Académica, y Servicio de Gestión Académica. Esta normativa cumple lo establecido en el RD 1393/2007, modificado por el Real Decreto 861/2010, y tiene como principios, de acuerdo con la legislación vigente:

- Un sistema de reconocimiento basado en créditos (no en materias) y en la acreditación de competencias.
- La posibilidad de establecer, con carácter previo a la solicitud de los estudiantes, tablas de reconocimiento globales entre titulaciones que permitan una rápida resolución de las peticiones sin necesidad de informes técnicos para cada solicitud y materia.
- La posibilidad de especificar estudios extranjeros susceptibles de ser reconocidos como equivalentes para el acceso al grado o al posgrado, determinando los estudios que se reconocen y las competencias pendientes de superar.
- La posibilidad de reconocer estudios no universitarios y competencias profesionales acreditadas.

Está accesible públicamente a través de la web de la USC, en el enlace

<http://www.usc.es/estaticos/normativa/pdf/normatransferrecocreditostituEEES.pdf>

Resolución rectoral del 15 de abril de 2011

[http://www.usc.es/export/sites/default/gl/servizos/sxopra/descargas/2011\\_04\\_15\\_RR\\_reconecemento\\_grao\\_master.pdf](http://www.usc.es/export/sites/default/gl/servizos/sxopra/descargas/2011_04_15_RR_reconecemento_grao_master.pdf)

**UDC:** Normativa de la UDC de Reconocimiento y Transferencia de Créditos para Titulaciones Adaptadas al Espacio Europeo de Educación Superior que fue aprobada en Consejo de Gobierno de 30 de junio de 2011, accesible a través de la dirección web de la Universidad en <http://www.udc.es/normativa/titulos/>

**UVIGO:** Procedimiento de transferencia y reconocimiento de créditos para másteres universitarios oficiales.

[http://webs.uvigo.es/vicprof/images/documentos/normativas/Uvigo/procedemento%20de%20reco%F1ecemento%20de%20cr%E9ditos%20en%20m%E1ster%202011\\_2012.pdf](http://webs.uvigo.es/vicprof/images/documentos/normativas/Uvigo/procedemento%20de%20reco%F1ecemento%20de%20cr%E9ditos%20en%20m%E1ster%202011_2012.pdf)

**UC3M:** Normativa reguladora de los procedimientos de reconocimiento, Convalidación y transferencia de

créditos, aprobada por el consejo de Gobierno en sesión de 25 de febrero de 2010.  
[www.uc3m.es/.../reconocimiento\\_creditos/reconocimiento%20y%20convalidacin.pdf](http://www.uc3m.es/.../reconocimiento_creditos/reconocimiento%20y%20convalidacin.pdf)

**UPM:** Normativa de reconocimiento y transferencia de créditos de la Universidad Politécnica de Madrid (Aprobada en la reunión del Consejo de Gobierno del 26 de febrero de 2009).  
<http://www.upm.es/institucional/Estudiantes/OrdenacionAcademica/Convalidaciones/ArticulosRelacionados/72a8d6eb218e1210VgnVCM10000009c7648aRCRD>

	Mínimo	Máximo
Otros Estudios superiores no universitarios	0	0
Estudios propios	0	0
Reconocimiento de experiencia profesional	0	13.5

## 5. PLANIFICACIÓN DE LAS ENSEÑANZAS

### 5.1 Estructura de las enseñanzas

Para obtener el título de Máster en Matemática Industrial, el alumno debe superar un mínimo de 90 créditos ECTS. El plan de estudios se ha diseñado atendiendo a las siguientes consideraciones generales:

1. El cuerpo de doctrina de la Matemática Industrial es muy amplio, y de una complejidad considerable. Por tanto, es imposible cubrirlo en su totalidad, para cada alumno, en el marco de un Master (a menos, por supuesto, que se emprendiese un enfoque muy superficial o meramente descriptivo, lo cual no ha parecido de ningún modo aceptable).
2. Si se proporciona una formación sólida en un campo de la Matemática Industrial (por ejemplo, Mecánica de Fluidos), con una participación activa del alumno, se conseguirá que éste adquiera una madurez suficiente, de modo que esté en condiciones de adaptarse muy rápidamente a un entorno laboral directamente relacionado con su formación (p.e., diseño aerodinámico), pero también estar en condiciones de adaptarse por su cuenta a otros campos (p.e., diseño de estructuras).
3. Pero no debe perderse de vista el carácter multidisciplinar de la Matemática Industrial, en que todo viene determinado por los problemas y las aplicaciones, no por los métodos.
4. Dentro de un mismo campo, conviene proporcionar conocimientos avanzados y relativamente especializados, cercanos a las aplicaciones directas.

5. Convendría, en lo posible, personalizar los currícula, atendiendo a las inclinaciones e intereses de los alumnos, así como a su formación previa.
6. La formación de cada alumno debe ser coherente, y estar tutelada de modo personalizado.
7. Convendría, para aquellos alumnos que así lo deseen, que el plan de estudios contemple la posibilidad de una formación más científica que profesional, de modo que puedan proseguir estudios de doctorado con posterioridad sin tener que cursar una cantidad significativa de nuevas materias.
8. Las universidades participantes tienen, en su conjunto la posibilidad de aprovechar asignaturas que ya se imparten en otros másteres, y tienen experiencia contrastada en el uso de videoconferencia. Por ello, puede hacerse una oferta completa de materias a un coste muy bajo.

Las siete primeras consideraciones parecen conducir a enfoques contradictorios. A lo largo de las cinco reuniones previas, aludidas anteriormente, fue apareciendo con claridad la posible solución, utilizando el potencial de las universidades participantes (consideración 8):

- I. Definir dos especialidades, una en Simulación Numérica y otra en Modelización, restringiendo el alcance de cada curriculum. Sin embargo, tales itinerarios deben tener una parte común amplia, para poder atender al carácter multidisciplinar de la Matemática Industrial. Más abajo se detallan estas especialidades y sus competencias específicas.
- II. Organizar las enseñanzas en cuatro módulos de formación:
  - **Módulo de formación básica**, que contendría las **Materias básicas obligatorias bien definidas e imprescindibles** en el curriculum, que incluye los métodos numéricos y analíticos básicos.
  - **Módulo de especialización**, que agruparía las materias obligatorias para cada uno de las especialidades. alguna de estas materias se desglosaría en asignaturas que se elegirían dentro de un bloque, de modo que se pueda atender a intensificaciones dentro de cada especialidad. Es lo que permite personalizar los currícula y proporcionar una formación coherente y sólida. Para ello, alguna de las materias se eligen dentro de un bloque, supervisado siempre por el tutor y con el visto bueno de la Comisión académica. En cualquier caso, se asegurará la coherencia de cada curriculum, de modo que, por ejemplo, elegir como obligatoria en el bloque de modelización básica la Mecánica de Fluidos forzará a elegir como obligatoria en el bloque de software el específico para Mecánica de Fluidos.
  - **Módulo de optatividad**, que agruparía las Materias optativas que puede elegir libremente el alumno.
  - **Trabajo Fin de Máster (TFM)**. Este módulo, que consta de 30 créditos ECTS, incluye la realización de un trabajo que permite al alumno contemplar de forma global la formación de los módulos anteriores.

Como se acaba de exponer, se definen dos especialidades, una de Modelización y otra de Simulación Numérica, en los que se intensifica una de las dos capacidades básicas que cubre el Master. No



obstante, debe notarse que se trata básicamente de intensificaciones, de modo que la especialidad de Modelización contendrá una parte sustancial de materias de simulación, y recíprocamente. Y ambas especialidades compartirán un módulo común de materias básicas obligatorias para, desde el punto de vista mencionado anteriormente, dar solidez a la formación. En la especialidad de Modelización se pretende desarrollar los varios métodos de diseñar y construir modelos, que incluyen consideraciones fenomenológicas, métodos de perturbaciones, y métodos genéricos para construir modelos. En la especialidad de Simulación se pretende recorrer las distintas etapas que se llevan a cabo en el diseño, implementación, y uso de las herramientas de simulación numérica de procesos industriales.

Así, la especialidad de Modelización abordará las competencias específicas:

CM1: Ser capaz de extraer, empleando diferentes técnicas analíticas, información tanto cualitativa como cuantitativa de los modelos.

CM2: Saber modelar elementos y sistemas complejos o en campos poco establecidos, que conduzcan a problemas bien planteados/formulados.

Las competencias específicas correspondientes a la especialidad de "Simulación Numérica" son:

CS1: Conocer, saber seleccionar y saber manejar las herramientas de software profesional (tanto comercial como libre) más adecuadas para la simulación de procesos en el sector industrial y empresarial.

CS2: Saber implementar, adaptar y modificar herramientas de software de simulación numérica.

Para completar este proceso de enseñanza, se ofertan un total de 90 créditos ECTS, que se impartirán a lo largo de 3 semestres. El programa está diseñado para permitir también una intensificación de 30 créditos ECTS adicionales, a cursar en otra universidad europea del consorcio ECMI, de modo que se pueda obtener una doble titulación. Además, se establece un sistema de tutorización personalizada de los alumnos. Se promoverá un programa de prácticas externas en empresas opcionales para los alumnos del programa.

#### 5.1.1. Distribución del plan de estudios en créditos ECTS, por tipo de materia

Tipo de materia/asignatura	Créditos a cursar	Créditos ofertados
Obligatorias	24	24
Optativas	36	114
Prácticas externas	--	
Trabajo fin de Máster	30	30
<b>Total</b>	90	168

En esta tabla se muestra un resumen del contenido del plan desglosado por módulos y materias, con especificación de los créditos asignados a cada módulo.

MÓDULO	MATERIA	ECTS
Módulo de formación básica (24 ECTS)	Métodos Numéricos y Programación	6
	Ecuaciones Diferenciales Ordinarias / Sistemas Dinámicos	6
	Ecuaciones en Derivadas Parciales	6
	Métodos Numéricos para Ecuaciones en Derivadas Parciales	6
Módulo de especialización: Especialidad de Modelización (entre 24 y 36 ECTS)	Modelización Básica	entre 6 y 18
	Modelización Avanzada	entre 6 y 18
	Métodos de Perturbaciones	6
	Temas de Matemática Aplicada	entre 6 y 18
Módulo de especialización: Especialidad de Simulación Numérica (entre 24 y 36 ECTS)	Mecánica de Medios Continuos	6
	Modelización Básica	entre 6 y 18
	Software Profesional de Simulación Numérica	entre 12 y 24
Módulo de optatividad (hasta 12 ECTS)	Complementos de Métodos Numéricos	entre 3 y 12
	Computación	entre 3 y 12
Trabajo fin de Máster (30 ECTS)	Trabajo fin de Máster	30

Tabla resumen de las materias y distribución de créditos ECTS

- Es obligatorio cursar los requisitos necesarios para tener al menos una de las dos especialidades:

### Especialidad en Modelización

Tipo de materia/asignatura	Créditos a cursar	Créditos ofertados
Obligatorias	24	24
Obligatorias del módulo de Modelización	24(OEM)	60(M. Modelización)
Optativas	12	36(Restantes del M. Modelización) +24(M Optativas) +30(M. Simulación- 18Modelización básica)
Trabajo fin de Máster	30	30

**OEM:** Es obligatorio cursar, para tener la Especialidad de Modelización, un mínimo de 6 créditos en cada una de las materias siguientes: Modelización Básica, Modelización Avanzada, Métodos de Perturbaciones y Temas de Matemática Aplicada.

### Especialidad en Simulación

Tipo de materia/asignatura	Créditos a cursar	Créditos ofertados
Obligatorias	24	24
Obligatorias del módulo de Simulación	24(OES)	48 (M. Simulación)
Optativas	12	24(Restantes del M. Simulación) +24(M Optativas)+42(M. Modelización- 18Modelización básica)
Trabajo fin de Máster	30	30

**OES:** Es obligatorio cursar, para tener la Especialidad de Simulación, un mínimo de 6 créditos en cada una de las materias siguientes: Mecánica de Medios Continuos, Modelización Básica y Software Profesional de Simulación Numérica.

## 5.2 Planificación y gestión de la movilidad de los estudiantes propios y de acogida

En este momento no existen acuerdos específicos de movilidad para este máster, sin perjuicio de que en el futuro puedan establecerse algunos acuerdos específicos con un número de créditos totales cursados en programas de movilidad no superior a 60 créditos ECTS en la Universidad de Destino que se pueden complementar con 60 créditos ECTS adicionales aproximadamente, y con ello acordar dobles titulaciones. En este sentido, se adaptarán los convenios de movilidad y doble titulación de los programas de Máster en Matemática Industrial de la Universidad Carlos III de Madrid y Máster en Ingeniería Matemática de las Universidades de Santiago de Compostela, A Coruña y Vigo. Al mismo tiempo se promoverá la firma de nuevos convenios.

La Comisión Académica del Máster será la encargada de asegurar la adecuación de los convenios de movilidad con los objetivos del título.

Bajo la supervisión de la Comisión Académica del Máster existirá un coordinador/tutor de los estudios en programas de movilidad que orientará los contratos de estudios y realizará el seguimiento de los cambios y del cumplimiento de los mismos.

En la universidad coordinadora la movilidad de los estudiantes está regulada a través del “Reglamento de intercambios interuniversitarios” aprobado por el Consello de Goberno de la USC el 6 de febrero de 2008 y publicado en el Diario Oficial de Galicia el 26 de marzo: <http://www.usc.es/estaticos/normativa/pdf/regulinterinterunivest08.pdf>

### SISTEMA DE RECONOCIMIENTO Y ACUMULACIÓN DE CRÉDITOS

Se indican los enlaces de los sistemas de reconocimiento y acumulación de créditos de las universidades participantes.

**USC:** Sistema de reconocimiento y acumulación de créditos ECTS se realizará de acuerdo con lo establecido en la “*Normativa de recoñecemento e transferencia de créditos para titulacións adaptadas ao EEES*” (Consello de Goberno de la USC, 14 de marzo de 2008 y apartado 4 de este memoria) y en el *Reglamento de Intercambios Interuniversitarios da USC*” (Consello de Goberno de la USC, 6 de febrero de 2008) <http://www.usc.es/estaticos/normativa/pdf/regulinterinterunivest08.pdf>

**UDC:** Reglamento sobre movilidad internacional de estudiantes (aprobado 04/10/2010)

**UVIGO:** Normativa de la Universidad de Vigo en materia de relaciones internacionales [http://www.uvigo.es/uvigo\\_es/administracion/ori/lexislacion/universidade.html](http://www.uvigo.es/uvigo_es/administracion/ori/lexislacion/universidade.html)

**UC3M:** Programas de intercambio [http://www.uc3m.es/portal/page/portal/becas\\_premios/intercambio](http://www.uc3m.es/portal/page/portal/becas_premios/intercambio)

**UPM:** Movilidad. Programas de intercambio:

[//www.upm.es/institucional/Estudiantes/Movilidad/Programas\\_Internacionales](http://www.upm.es/institucional/Estudiantes/Movilidad/Programas_Internacionales)

### **5. 3 Descripción detallada de los módulos o materias de enseñanza-aprendizaje de que consta el plan de estudios**

A continuación se incluyen las fichas de cada una de las materias en las que se organizan los estudios.

El sistema de evaluación, las competencias, tabla de competencias y las actividades formativas y que se mencionan en las fichas de las materias, se detallan en esta sección después de las fichas.

<b>Módulo: Formación Básica</b>	
<b>Materia: Métodos Numéricos y Programación</b>	
<b>Número de créditos ECTS</b>	6 ECTS
<b>Carácter de la materia</b>	Obligatoria
<b>Curso/Cuatrimestre</b>	Primer curso / Primer cuatrimestre
<b>Competencias que el estudiante adquiere:</b>	
VER TABLA	
<b>Requisitos previos:</b>	
<b>(Breve descripción de) Contenidos:</b>	
Métodos numéricos para la resolución de sistemas de ecuaciones lineales y no lineales:	
Métodos numéricos para el cálculo de autovalores y autovectores	
Interpolación, derivación e integración numéricas	
Programación en un entorno de desarrollo con lenguaje interpretado (MATLAB, Scientific Python)	
Programación en un lenguaje de carácter científico compilado (Fortran 90, C)	
<b>Resultados del aprendizaje:</b>	
Saber analizar las propiedades de convergencia de los métodos numéricos básicos	
Saber implementar y usar eficientemente los métodos numéricos básicos	
Manejar un entorno de desarrollo orientado al cálculo numérico	
Saber implementar algoritmos numéricos usando un lenguaje compilado	
<b>Actividades formativas:</b>	
VER TABLA	
<b>Sistemas de evaluación:</b>	
VER APARTADO	

<b>Módulo: Formación Básica</b>	
<b>Materia: Ecuaciones Diferenciales Ordinarias / Sistemas Dinámicos</b>	
<b>Número de créditos ECTS</b>	6 ECTS
<b>Carácter de la materia</b>	Obligatoria
<b>Curso/Cuatrimestre</b>	Primer curso / Primer cuatrimestre
<b>Competencias que el estudiante adquiere:</b> VER TABLA	
<b>Requisitos previos:</b>	
<b>(Breve descripción de) Contenidos:</b> Teoría fundamental de ecuaciones diferenciales ordinarias Técnicas analíticas de integración de ecuaciones diferenciales ordinarias Técnicas numéricas de integración de ecuaciones diferenciales ordinarias Sistemas dinámicos unidimensionales y bidimensionales Introducción a la teoría de bifurcaciones y caos	
<b>Resultados del aprendizaje:</b> Saber analizar sistemas dinámicos de baja dimensión. Manejar con soltura los métodos analíticos de integración de ecuaciones diferenciales ordinarias Manejar con soltura los métodos numéricos de integración de ecuaciones diferenciales ordinarias Usar los sistemas dinámicos para modelar y analizar problemas de interés industrial. Entender los conceptos elementales de bifurcaciones y saber aplicarlos a problemas concretos.	
<b>Actividades formativas:</b> VER TABLA	
<b>Sistemas de evaluación:</b> VER APARTADO	

<b>Módulo: Formación Básica</b>	
<b>Materia: Ecuaciones en Derivadas Parciales</b>	
<b>Número de créditos ECTS</b>	6 ECTS
<b>Carácter de la materia</b>	Obligatoria
<b>Curso/Cuatrimestre</b>	Primer curso / Primer cuatrimestre
<b>Competencias que el estudiante adquiere:</b>	
VER TABLA	
<b>Requisitos previos:</b>	
<b>(Breve descripción de) Contenidos:</b>	
Ecuaciones en derivadas parciales de primer orden.	
Clasificación de ecuaciones en derivadas parciales de segundo orden y principales ejemplos.	
Funciones de Green y fórmulas de representación.	
Técnicas de resolución de ecuaciones en derivadas parciales de tipo elíptico.	
Técnicas de resolución de ecuaciones en derivadas parciales de tipo parabólico e hiperbólico.	
Introducción a la formulación variacional de ecuaciones en derivadas parciales.	
<b>Resultados del aprendizaje:</b>	
Reconocer y clasificar ecuaciones en derivadas parciales de primer y segundo orden	
Conocer y aplicar con precisión los métodos de separación de variables para la resolución de ecuaciones en derivadas parciales	
Conocer y aplicar las fórmulas de representación de las soluciones de las ecuaciones en derivadas parciales	
Comprender y analizar la complejidad intrínseca de modelos con ecuaciones en derivadas parciales no lineales	
<b>Actividades formativas:</b>	
VER TABLA	
<b>Sistemas de evaluación:</b>	
VER APARTADO	



<b>Módulo: Formación Básica</b>	
<b>Materia: Métodos Numéricos para Ecuaciones en Derivadas Parciales</b>	
<b>Número de créditos ECTS</b>	6 ECTS
<b>Carácter de la materia</b>	Obligatoria
<b>Curso/Cuatrimestre</b>	Primer curso / Primer cuatrimestre
<b>Competencias que el estudiante adquiere:</b> VER TABLA	
<b>Requisitos previos:</b>	
<b>(Breve descripción de) Contenidos:</b> Visión general de principales métodos: diferencias finitas, volúmenes finitos y elementos finitos. Métodos numéricos para la resolución de problemas de tipo elíptico. Métodos numéricos para la resolución de problemas de evolución de tipo parabólico. Métodos numéricos para la resolución de problemas de evolución de tipo hiperbólico.	
<b>Resultados del aprendizaje:</b> Conocer las principales familias de métodos numéricos para la resolución de ecuaciones diferenciales. Saber aplicar los principales métodos de resolución numérica de ecuaciones diferenciales. Comprender el grado de aproximación obtenido mediante un determinado método numérico. Entender las principales dificultades que plantea la resolución numérica de una determinada ecuación en derivadas parciales.	
<b>Actividades formativas:</b> VER TABLA	
<b>Sistemas de evaluación:</b> VER APARTADO	

<b>Módulo: Especialización (común a ambas especialidades)</b>	
<b>Materia: Modelización Básica</b>	
<b>Número de créditos ECTS</b>	Un mínimo de 6 ECTS y un máximo de 18 ECTS
<b>Carácter de la materia</b>	Mixto: 6 ECTS son obligatorios (para ambas especialidades), el resto optativos
<b>Curso/Cuatrimestre</b>	Primer curso / Primer y segundo cuatrimestre
<b>Competencias que el estudiante adquiere:</b>	
VER TABLA	
<b>Requisitos previos:</b>	
Ecuaciones diferenciales ordinarias / Sistemas dinámicos	
Ecuaciones en derivadas parciales	
<b>(Breve descripción de) Contenidos:</b>	
<p>Mecánica de fluidos y aplicaciones: flujos potenciales, flujos viscosos a bajo y alto número de Reynolds, introducción a la turbulencia, introducción a las inestabilidades hidrodinámicas, propagación acústica, transporte de contaminantes y control de procesos medioambientales.</p> <p>Mecánica de sólidos y estructuras: medidas de la tensión, formulación de leyes constitutivas, elasticidad lineal y no lineal, introducción a la plasticidad, problemas de contacto, teoría de vigas y placas.</p> <p>Electromagnetismo: electrostática y magnetostática, modelos electromagnéticos a baja frecuencia, radiación electromagnética, guiado de ondas electromagnéticas.</p> <p>Mecánica cuántica y Física del estado sólido: Nociones básicas de Mecánica Cuántica, estructura y dinámica de redes cristalinas, Electrones en un potencial periódico y bandas de energía, teoría semiclásica de la conducción en materiales, propiedades ópticas de los materiales.</p> <p>Modelado matemático de productos financieros: mercados y productos financieros, valoración de activos sin riesgo y con riesgo, técnicas de cobertura dinámica y modelos de Black-Scholes, modelos Black-Scholes para opciones y bonos, modelado de riesgos financieros.</p>	
<b>Asignaturas en que se organiza (inicialmente) esta materia:</b>	
Mecánica de Fluidos (6 ECTS)	
Mecánica de Sólidos (6 ECTS)	
Electromagnetismo (6 ECTS)	

Mecánica Cuántica y Física del Estado Sólido (6 ECTS)

Acústica (6 ECTS)

Modelos Matemáticos en Medio Ambiente (6 ECTS)

Modelos Matemáticos en Finanzas (6 ECTS)

Taller de Modelización Matemática en la Ciencia y la Industria (6 ECTS)

Esta lista corresponde a las asignaturas que se ofertarán durante el primer año de impartición del Máster. La oferta durante los siguientes cursos podría cambiar, siendo la Comisión Académica del Máster la encargada de aprobar las asignaturas que se oferten en cada edición del Máster, garantizando que éstas se adecúan a las competencias y contenidos de la materia.

**Resultados del aprendizaje:**

Comprender los principios básicos y los problemas relevantes de un campo de aplicación en el ámbito de la Ingeniería y las Ciencias Aplicadas

Saber modelar elementos fundamentales en este campo de aplicación, comprendiendo el grado de aproximación efectuado

Entender las dificultades que tanto la simulación numérica como el análisis de estos modelos plantea

**Actividades formativas:**

VER TABLA

**Sistemas de evaluación:**

VER APARTADO

<b>Módulo: Especialización. A) Especialidad en Modelización</b>	
<b>Materia: Modelización Avanzada</b>	
<b>Número de créditos ECTS</b>	Un mínimo de 6 ECTS y un máximo de 18 ECTS
<b>Carácter de la materia</b>	Mixto: 6 ECTS son obligatorios para la especialidad en Modelización, el resto optativos
<b>Curso/Cuatrimestre</b>	Primer curso / Segundo cuatrimestre
<b>Competencias que el estudiante adquiere:</b>	
VER TABLA	
<b>Requisitos previos:</b>	
Ecuaciones diferenciales ordinarias / Sistemas dinámicos	
Ecuaciones en derivadas parciales	
Se deberá haber cursado o estar cursando la materia Modelización Básica	
<b>(Breve descripción de) Contenidos:</b>	
<p>Mecánica de fluidos avanzada y aplicaciones: transporte de calor convectivo, aletas de refrigeración, intercambiadores de calor, turbulencia libre y en presencia de paredes, descripción estadística de la turbulencia, estructuras coherentes en flujos turbulentos, procesos de ignición, llamas de premezcla y de difusión, detonaciones,</p> <p>Mecánica de sólidos avanzada: integración de leyes constitutivas en sólidos, problemas de localización de deformaciones, problemas de daño dúctil</p> <p>Transporte electrónico en micro y nano estructuras: procesos de transporte en semiconductores, efecto Hall cuántico, efecto túnel y acoplamiento resonantes</p>	
<b>Asignaturas en que se organiza (inicialmente) esta materia:</b>	
Combustión (6 ECTS)	
Transferencia de calor y masa (6 ECTS)	
Turbulencia (6 ECTS)	
Modelos Matemáticos en Control Térmico (6 ECTS)	
Transporte Electrónico en Micro y Nano Estructuras (6 ECTS)	
Modelización (avanzada) en Mecánica de Sólidos (6 ECTS)	

Taller de Modelización Matemática en la Ciencia y la Industria II (6 ECTS)

Esta lista corresponde a las asignaturas que se ofertarán durante el primer año de impartición del Máster. La oferta durante los siguientes cursos podría cambiar, siendo la Comisión Académica del Máster la encargada de aprobar las asignaturas que se oferten en cada edición del Máster, garantizando que éstas se adecúan a las competencias y contenidos de la materia.

**Resultados del aprendizaje:**

Comprender algunos de los problemas más complejos de un campo de aplicación en el ámbito de la Ingeniería y las Ciencias Aplicadas

Saber modelar elementos complejos en este campo de aplicación, comprendiendo el grado de aproximación efectuado

Entender las dificultades que tanto la simulación numérica como el análisis de estos modelos plantea

**Actividades formativas:**

VER TABLA

**Sistemas de evaluación:**

VER APARTADO

**Módulo: Especialización. A) Especialidad en Modelización**

**Materia: Métodos de Perturbaciones**

<b>Número de créditos ECTS</b>	6 ECTS
<b>Carácter de la materia</b>	Obligatoria para especialidad de Modelización
<b>Curso/Cuatrimestre</b>	Primer curso / Segundo cuatrimestre

**Competencias que el estudiante adquiere:**

VER TABLA

**Requisitos previos:**

Ecuaciones Diferenciales Ordinarias / Sistemas Dinámicos

Ecuaciones en Derivadas Parciales

**(Breve descripción de) Contenidos:**

- Nociones básicas de Análisis Asintótico.
- Aproximación de integrales.
- La condición de resolubilidad de un problema lineal no homogéneo.
- Problemas de autovalores.
- Método de Poincaré-Linstedt.
- Scaling de problemas de perturbaciones singulares.
- Capa límite y principio de acoplamiento asintótico.
- Método de desarrollos asintóticos acoplados.
- Método de las escalas múltiples.
- Método de Chapman-Enskog.

**Resultados del aprendizaje:**

Reconocer y clasificar un problema de perturbaciones regulares o singulares.

- Entender y manejar los conceptos de límite distinguido, balance dominante, scaling.
- Entender y manejar los métodos elementales de aproximación de integrales.
- Entender y manejar métodos de capa límite y desarrollos asintóticos acoplados para EDOs.

- Usar métodos de escalas múltiples para problemas de osciladores lineales y no lineales.
- Entender y manejar el método de Chapman-Enskog como corrección del de escalas múltiples

**Actividades formativas:**

VER TABLA

**Sistemas de evaluación:**

VER APARTADO

<b>Módulo: Especialización. A) Especialidad en Modelización</b>	
<b>Materia: Temas de Matemática Aplicada</b>	
<b>Número de créditos ECTS</b>	Un mínimo de 6 ECTS y un máximo de 18 ECTS
<b>Carácter de la materia</b>	Mixto: 6 ECTS son obligatorios para la especialidad en Modelización, el resto optativos
<b>Curso/Cuatrimestre</b>	Primer curso / Segundo cuatrimestre
<b>Competencias que el estudiante adquiere:</b>	
VER TABLA	
<b>Requisitos previos:</b>	
Ecuaciones en Derivadas Parciales	
<b>(Breve descripción de) Contenidos:</b>	
<p>Optimización, control y problemas inversos: optimización sin restricciones, programación lineal, optimización no lineal con restricciones, control en ingeniería, control óptimo de sistemas, scattering y problemas inversos asociados a ecuación de Helmholtz, métodos numéricos de resolución de problemas inversos, problemas inversos de formas y conjuntos de nivel</p> <p>Análisis avanzado de ecuaciones diferenciales: cuestiones básicas de estabilidad de sistemas dinámicos, bifurcaciones a soluciones estacionarias, bifurcación de Hopf, variedades centrales, aplicación de Poincaré, inestabilidades en sistemas distribuidos: inestabilidad espacial/temporal, inestabilidad absoluta/convectiva, inestabilidades hidrodinámicas, inecuaciones variacionales, teoría espectral de ecuaciones en derivadas parciales, teoría variacional de ecuaciones en derivadas parciales de evolución</p> <p>Métodos estadísticos: teoría de probabilidad, estimación de parámetros, contrastes de hipótesis (paramétricos y no paramétricos), construcción de modelos lineales y no lineales</p>	
<b>Asignaturas en que se organiza (inicialmente) esta materia:</b>	
Optimización y Control (6 ECTS)	
Métodos Estadísticos (6 ECTS)	
Análisis Variacional de Ecuaciones en Derivadas Parciales (3 ECTS)	
Estabilidad de Sistemas Físicos (6 ECTS)	
Estabilidad Hidrodinámica (6 ECTS)	
Problemas Inversos y Reconstrucción de Imágenes (6 ECTS)	



Esta lista corresponde a las asignaturas que se ofertarán durante el primer año de impartición del Máster. La oferta durante los siguientes cursos podría cambiar, siendo la Comisión Académica del Máster la encargada de aprobar las asignaturas que se oferten en cada edición del Máster, garantizando que éstas se adecúan a las competencias y contenidos de la materia.

**Resultados del aprendizaje:**

Dominar técnicas analíticas específicas para el tratamiento de problemas en el campo de la Matemática Industrial

Saber seleccionar y aplicar técnicas adecuadas para el análisis de un determinado problema en el campo de la Matemática Industrial

**Actividades formativas:**

VER TABLA

**Sistemas de evaluación:**

VER APARTADO

<b>Módulo: Especialización. B) Especialidad en Simulación Numérica</b>	
<b>Materia: Mecánica de Medios Continuos</b>	
<b>Número de créditos ECTS</b>	6 ECTS
<b>Carácter de la materia</b>	Obligatoria para especialidad de Simulación
<b>Curso/Cuatrimestre</b>	Primer curso / Primer cuatrimestre
<b>Competencias que el estudiante adquiere:</b>	
VER TABLA	
<b>Requisitos previos:</b>	
Se deberá haber cursado o estar cursando Ecuaciones en Derivadas Parciales	
<b>(Breve descripción de) Contenidos:</b>	
Álgebra y análisis tensorial.	
Coordenadas curvilíneas	
Cinemática	
Leyes de conservación	
Cambio de observador	
Algunos modelos simples en mecánica de sólidos y mecánica de fluidos	
<b>Resultados del aprendizaje:</b>	
Manejar con soltura los principios del análisis vectorial y tensorial	
Conocer las diferentes formulaciones de los principios de conservación de materia, momentos y energía	
Comprender los modelos básicos de la mecánica de sólidos y la mecánica de fluidos	
<b>Actividades formativas:</b>	
VER TABLA	
<b>Sistemas de evaluación:</b>	
VER APARTADO	

<b>Módulo: Especialización. B) Especialidad en Simulación Numérica</b>	
<b>Materia: Software Profesional de Simulación Numérica</b>	
<b>Número de créditos ECTS</b>	Un mínimo de 12 ECTS y un máximo de 24 ECTS
<b>Carácter de la materia</b>	Mixto: 12 ECTS son obligatorios para la especialidad en Simulación Numérica, el resto optativos
<b>Curso/Cuatrimestre</b>	Primer curso / Segundo cuatrimestre
<b>Competencias que el estudiante adquiere:</b>	
VER TABLA	
<b>Requisitos previos:</b>	
Métodos Numéricos para Ecuaciones en Derivadas Parciales	
Se deberá haber cursado o estar cursando la materia de Modelización Básica	
<b>(Breve descripción de) Contenidos:</b>	
Herramientas de modelado geométrico 3D	
Capacidades de modelado del software profesional de simulación numérica en mecánica de fluidos y aplicaciones, mecánica de sólidos y estructuras, electromagnetismo y óptica	
Control del modelado y resolución numérica en software profesional de simulación numérica	
Validación de modelos numéricos implementados en software profesional de simulación numérica	
Postprocesado de resultados de simulación numérica	
<b>Asignaturas en que se organiza (inicialmente) esta materia:</b>	
Software Profesional en Finanzas (6 ECTS)	
Software Profesional en Mecánica de Fluidos (6 ECTS)	
Software Profesional en Mecánica de Sólidos (6 ECTS)	
Software Profesional en Electromagnetismo y Óptica (6 ECTS)	
Software Profesional en Acústica (6 ECTS)	
Software Profesional en Medio Ambiente (6 ECTS)	
Diseño asistido por ordenador (6 ECTS)	
Esta lista corresponde a las asignaturas que se ofertarán durante el primer año de impartición del	

Máster. La oferta durante los siguientes cursos podría cambiar, siendo la Comisión Académica del Máster la encargada de aprobar las asignaturas que se oferten en cada edición del Máster, garantizando que éstas se adecúan a las competencias y contenidos de la materia.

**Resultados del aprendizaje:**

Conocer las principales herramientas de software profesional en un campo de aplicación en el ámbito de la Ingeniería y las Ciencias Aplicadas

Saber utilizar de modo eficiente las principales herramientas de software profesional en dicho campo de aplicación

Saber validar modelos numéricos y su implementación usando herramientas de software profesional

**Actividades formativas:**

VER TABLA

**Sistemas de evaluación:**

VER APARTADO

<b>Módulo: Optatividad</b>	
<b>Materia: Complementos de Métodos Numéricos</b>	
<b>Número de créditos ECTS</b>	Entre 3 ECTS y 12 ECTS
<b>Carácter de la materia</b>	Optativa
<b>Curso/Cuatrimestre</b>	Primer curso / Segundo cuatrimestre
<b>Competencias que el estudiante adquiere:</b>	
VER TABLA	
<b>Requisitos previos:</b>	
Métodos Numéricos y Programación	
Métodos Numéricos para Ecuaciones en Derivadas Parciales	
<b>(Breve descripción de) Contenidos:</b>	
Métodos Numéricos Estocásticos: Métodos de Monte Carlo, Dinámica molecular, dinámica browniana	
Ampliación de Métodos Numéricos para ecuaciones en derivadas parciales: métodos de elementos de contorno, métodos de volúmenes finitos para sistemas de leyes de conservación, métodos espectrales, métodos sin malla, estimaciones "a priori" y "a posteriori" de error en métodos de elementos finitos, métodos de elementos finitos mixtos, métodos de continuación y cálculo de diagramas de bifurcación	
Optimización y Algebra Numérica de Grandes Sistemas: métodos numéricos de optimización sin y con restricciones, métodos de optimización global, almacenamiento de matrices huecas, resolución de grandes sistemas de ecuaciones lineales y no lineales, cálculo de autovalores y autovectores de grandes matrices huecas	
<b>Asignaturas en que se organiza (inicialmente) esta materia:</b>	
Métodos Numéricos Estocásticos (6 ECTS)	
Cálculo Científico Avanzado con MATLAB (6 ECTS)	
Seminario de Métodos Numéricos (6 ECTS)	
Ampliación de Elementos Finitos (3 ECTS)	
Ampliación de Volúmenes Finitos (3 ECTS)	
Métodos de Elementos de Contorno (3 ECTS)	
Métodos Numéricos para Grandes Sistemas de Ecuaciones (3 ECTS)	
Esta lista corresponde a las asignaturas que se ofertarán durante el primer año de impartición del	

Máster. La oferta durante los siguientes cursos podría cambiar, siendo la Comisión Académica del Máster la encargada de aprobar las asignaturas que se oferten en cada edición del Máster, garantizando que éstas se adecúan a las competencias y contenidos de la materia.

**Resultados del aprendizaje:**

Conocer métodos numéricos avanzados como herramienta de resolución eficiente de problemas específicos

Saber analizar las principales propiedades de estos métodos numéricos

Saber implementar estos métodos numéricos

**Actividades formativas:**

VER TABLA

**Sistemas de evaluación:**

VER APARTADO

<b>Módulo: Optatividad</b>	
<b>Materia: Computación</b>	
<b>Número de créditos ECTS</b>	Entre 3 ECTS y 12 ECTS
<b>Carácter de la materia</b>	Optativa
<b>Curso/Cuatrimestre</b>	Primer curso / Segundo cuatrimestre
<b>Competencias que el estudiante adquiere:</b>	
VER TABLA	
<b>Requisitos previos:</b>	
Métodos Numéricos y Programación	
Métodos Numéricos para Ecuaciones en Derivadas Parciales	
<b>(Breve descripción de) Contenidos:</b>	
Lenguajes y protocolos para computación científica: Programación en C, Programación orientada a objetos, Programación en C++, estándar OpenMP, estándar MPI.	
Arquitecturas y algoritmos para el cálculo paralelo: microprocesadores y jerarquías de memoria, redes, arquitecturas paralelas, paradigmas de cálculo distribuido, diseño de algoritmos paralelos, paralelización de algoritmos numéricos.	
Herramientas de software para computación científica: bibliotecas de álgebra lineal numérica, herramientas de CAD y de generación de mallados, bibliotecas de elementos finitos y volúmenes finitos, herramientas de visualización y postprocesado.	
<b>Asignaturas en que se organiza (inicialmente) esta materia:</b>	
Programación en C++ (3 ECTS)	
Cálculo Paralelo (3 ECTS)	
Redes y computación distribuida (3 ECTS)	
Arquitectura de Computadores y Sistemas Operativos (3 ECTS)	
Software para el Cálculo Científico (6 ECTS)	
Esta lista corresponde a las asignaturas que se ofertarán durante el primer año de impartición del Máster. La oferta durante los siguientes cursos podría cambiar, siendo la Comisión Académica del Máster la encargada de aprobar las asignaturas que se oferten en cada edición del Máster, garantizando que éstas se adecúan a las competencias y contenidos de la materia.	

**Resultados del aprendizaje:**

Saber manejar lenguajes de programación y protocolos de uso común en el cálculo de altas prestaciones

Conocer principales aspectos software/hardware del cálculo paralelo

Conocer herramientas software para el desarrollo de aplicaciones de cálculo científico

**Actividades formativas:**

VER TABLA

**Sistemas de evaluación:**

VER APARTADO



<b>Módulo: Trabajo Fin de Máster</b>	
<b>Materia: Trabajo Fin de Máster</b>	
<b>Número de créditos ECTS</b>	30 ECTS
<b>Carácter de la materia</b>	Obligatoria
<b>Curso/Cuatrimestre</b>	Segundo curso / Primer cuatrimestre
<b>Competencias que el estudiante adquiere:</b>	
VER TABLA	
<b>Requisitos previos:</b>	
Haber completado los 60 ECTS del programa	
<b>(Breve descripción de) Contenidos:</b>	
Ver observaciones	
<b>Resultados del aprendizaje:</b>	
<p>Establecer estrategias para formular un problema industrial en términos de matemática industrial</p> <p>Identificar métodos de resolución, implementarlos y diseñar experimentos para su validación</p> <p>Posicionar la Matemática Industrial dentro de la actividad empresarial.</p> <p>Saber trabajar en equipo en la resolución de problemas industriales</p> <p>Exponer por escrito y oralmente los resultados del trabajo ante audiencias especializadas como ante los potenciales usuarios.</p>	
<b>Observaciones/aclaraciones:</b>	
<p>En el marco del desarrollo del Trabajo Fin de Máster (al margen del trabajo personal del alumno tutorizado por un profesor del Máster) el alumno deberá participar en algunas de las siguientes actividades:</p> <p>(a) Seminarios y sesiones de modelización matemática de problemas industriales. En particular, al margen de las sesiones organizadas en el marco del propio máster, se valorará la participación en las semanas de modelización Modelling Weeks (MW) internacionales anualmente organizadas por el ECMI.</p> <p>(b) Sesiones de metodología de proyectos, relativas a proyectos tanto en el marco general de la matemática industrial como en dominios específicos (como, por ejemplo, proyectos de desarrollo de software)</p>	

(c) Prácticas en empresas.

El tema del Trabajo Fin de Máster será elegido entre las propuestas presentadas por las empresas colaboradoras del Máster (que serán objeto además de sesiones específicas de modelización matemática, tal y como se han descrito anteriormente) y las ofertas presentadas por instructores del programa y avaladas por la Comisión Académica del Máster.

**Actividades formativas:**

VER TABLA

**Sistemas de evaluación:**

Se evaluará mediante la presentación de los resultados del Trabajo Fin de Máster ante un tribunal formado por profesores del máster. Eventualmente, podrán también formar parte del tribunal especialistas de reconocida competencia en el ámbito de la Matemática Industrial, si la normativa de la universidad de la defensa lo permite.

En la evaluación se tendrá en cuenta también la evaluación continua del trabajo del alumno durante el desarrollo del Trabajo Fin de Máster a través de los informes de su director y/o tutor.

## Competencias

A continuación se repite la lista de competencias y se da la tabla de competencias cubiertas en cada materia:

### Competencias generales

CG1 Poseer y comprender conocimientos que aporten una base u oportunidad de ser originales en el desarrollo y/o aplicación de ideas, a menudo en un contexto de investigación, sabiendo traducir necesidades industriales en términos de proyectos de I+D+i en el campo de la Matemática Industrial;

CG2 Saber aplicar los conocimientos adquiridos y su capacidad de resolución de problemas en entornos nuevos o poco conocidos dentro de contextos más amplios, incluyendo la capacidad de integrarse en equipos multidisciplinares de I+D+i en el entorno empresarial;

CG3 Ser capaz de integrar conocimientos para enfrentarse a la formulación de juicios a partir de información que, aun siendo incompleta o limitada, incluya reflexiones sobre las responsabilidades sociales y éticas vinculadas a la aplicación de sus conocimientos;

CG4 Saber comunicar las conclusiones, junto con los conocimientos y razones últimas que las sustentan, a públicos especializados y no especializados de un modo claro y sin ambigüedades;

CG5 Poseer las habilidades de aprendizaje que les permitan continuar estudiando de un modo que habrá de ser en gran medida autodirigido o autónomo, y poder emprender con éxito estudios de doctorado.

### Competencias específicas

CE1: Alcanzar un conocimiento básico en un área de Ingeniería/Ciencias Aplicadas, como punto de partida para un adecuado modelado matemático, tanto en contextos bien establecidos como en entornos

nuevos o poco conocidos dentro de contextos más amplios y multidisciplinarios.

CE2: Modelar ingredientes específicos y realizar las simplificaciones adecuadas en el modelo que faciliten su tratamiento numérico, manteniendo el grado de precisión, de acuerdo con requisitos previamente establecidos.

CE3: Determinar si un modelo de un proceso está bien planteado matemáticamente y bien formulado desde el punto de vista físico.

CE4: Ser capaz de seleccionar un conjunto de técnicas numéricas, lenguajes y herramientas informáticas, adecuadas para resolver un modelo matemático.

CE5: Ser capaz de validar e interpretar los resultados obtenidos, comparando con visualizaciones, medidas experimentales y/o requisitos funcionales del correspondiente sistema físico/de ingeniería.

### Competencias de especialidad “Modelización”

CM1: Ser capaz de extraer, empleando diferentes técnicas analíticas, información tanto cualitativa como cuantitativa de los modelos.

CM2: Saber modelar elementos y sistemas complejos o en campos poco establecidos, que conduzcan a problemas bien planteados/formulados.

### Competencias de especialidad “Simulación numérica”

CS1: Conocer, saber seleccionar y saber manejar las herramientas de software profesional (tanto comercial como libre) más adecuadas para la simulación de procesos en el sector industrial y empresarial.

CS2: Saber adaptar, modificar e implementar herramientas de software de simulación numérica.

### Tabla global de competencias por materia

Materia / Competencias	CG1	CG2	CG3	CG4	CG5	CE1	CE2	CE3	CE4	CE5	CM1	CM2	CS1	CS2
Mét. Numér. y Program.									*					*
Ec. Diferenc. Ordinarias								*			*			
Ec. en Derivadas Parciales								*			*			
Mét. Numér. Para EDP									*					
Modelización Básica	*	*		*		*	*			*				
Modelización Avanzada	*	*		*	*	*	*			*		*		

Métodos de Perturbaciones					*		*	*			*	*		
Temas de Matem. Aplicada	*			*	*			*		*	*			
Mecán. de Medios Cont.						*	*							
Software Prof. Simul. Num.	*			*					*	*			*	*
Mét. Numér. Avanzados					*				*					*
Computación									*					*
Trabajo Fin de Máster	*	*	*	*										

**Tabla global de actividades formativas por materias**

Materia \ Actividad	Presencial							Trabajo personal						
	Clase	Resolución de problemas	Laboratorio de Informática	Tutorías	Seminario	Presentación de trabajos	Prácticas de	Sesión	Estudio personal	Resolución de ejercicios	Resolución de prácticas	Preparación de trabajos	Preparación de exámenes	
Mét. Numér. y Program.	*	*	*				*	*	*	*			*	
Ec. Diferenc. Ordinarias	*	*						*	*	*			*	
Ec. en Derivadas Parciales	*	*						*	*	*			*	
Mét. Numér. Para EDP	*	*	*				*	*	*	*	*		*	
Modelización Básica	*	*				*		*	*	*		*	*	
Modelización Avanzada	*	*				*		*	*	*		*	*	
Métodos de	*	*						*	*	*			*	

Perturbaciones														
Temas de Matem. Aplicada	*	*				*		*	*	*		*	*	
Mecán. de Medios Cont.	*	*						*	*	*			*	
Software Prof. Simul. Num.			*			*	*	*			*	*	*	
Mét. Numér. Avanzados	*	*	*			*	*	*	*	*	*	*	*	
Computación	*	*	*			*	*	*	*	*	*	*	*	
Trabajo Fin de Máster				*	*	*		*	*			*		

El número de horas presenciales en las cinco universidades participantes es:

**UDC/USC/UVIGO:** 45 horas para materias de 6 ECTS (6 horas semanales durante un bimestre)

**UC3M:** 45 horas para materias de 6 ECTS (3 horas semanales durante un cuatrimestre)

**UPM:** 45 horas para materias de 6 ECTS (3 horas semanales durante un cuatrimestre)

El número de horas dedicado a cada una de las actividades será detallado en la ficha de cada materia/asignatura y revisado por la Comisión Académica del Máster.

**Sistema global de evaluación:**

Para cada materia o cada asignatura (en los casos en que la materia se desglosa en asignaturas), el **sistema de evaluación** incluye:

- Evaluación continua del trabajo del alumno: resolución de ejercicios, tareas de programación y utilización de software.
- Examen final: se evaluarán de forma global los conocimientos, destrezas y capacidades adquiridas a lo largo del curso.

Los porcentajes precisos asignados a cada uno de los elementos de la evaluación se fijarán cada año en la correspondiente guía docente de la materia o asignatura. En cualquier caso, la evaluación continua representará al menos el 30% de la evaluación global de la materia o asignatura.

La evaluación del Trabajo Fin de Máster, por sus características especiales, se describe en la correspondiente ficha.

#### **5.4. Mecanismos de coordinación docente.**

La coordinación académica está a cargo de la Comisión Académica del Máster, descrita en el apartado relativo a la admisión. Esta comisión admitirá y asignará tutores académicos a los estudiantes, se ocupará del reconocimiento y transferencia de créditos, elaborará y difundirá las ofertas de Trabajos Fin de Máster en cada curso y se los asignará a los estudiantes según criterios de capacidad, competencia y trayectoria académica tras recabar la opinión de los profesores del Máster. La Comisión Académica, en colaboración con los tutores académicos, orientará el plan de estudios de cada estudiante. Asimismo, la Comisión Académica evaluará las posibles modificaciones al plan de estudios y las elevará a los órganos competentes para su eventual aprobación y posterior tramitación. También realizará el seguimiento de los indicadores de la titulación fijados en los sistemas de garantías de las Universidades participantes.

### **6. PERSONAL ACADÉMICO DISPONIBLE**

El personal académico disponible del máster está compuesto por 127 profesores de las cinco universidades participantes. Se detalla, según los indicadores requeridos, su categoría profesional, dedicación a la universidad, experiencia docente (quinquenios) y experiencia investigadora. Los porcentajes se calculan en las áreas de conocimiento implicadas y/o departamentos, para cada una de las universidades participantes.

Se contará también con la participación de profesionales externos para la impartición de algunos cursos específicos, como ya se venía haciendo en los títulos oficiales que se funden en el máster objeto de esta memoria. En relación con estos profesionales, no se incluyen en las tablas que siguen los indicadores anteriores por no ser procedentes en la mayoría de los casos. La Comisión Académica del Máster tendrá en cuenta, para seleccionarlos, su alta competencia profesional y experiencia en los contenidos asignados. Su participación en el equipo docente está conectada con el interés social y la demanda del máster.

Como también se mencionó en la memoria en diferentes secciones, las presentaciones de las empresas, para los problemas que se resolverán en los trabajos fin de Máster, se harán por parte de personal de propuesto por ellas, coordinados con profesores del máster, expertos en las temáticas de los problemas.

## I. Tablas de profesorado USC

(a) Profesorado disponible (número total de profesores en cada categoría)

	Matemática aplicada	Electrónica y Computación	Ingeniería Química	Ingeniería Agroforestal	Óptica	Arquitectura y Tecnología de Computadores	Ciencia de Computación e Inteligencia Artificial	Total	%
CU	3		1		1			5	20
TU/CEU	12					1	1	14	56
TEU	1							1	4
Contratados	3	1		1				5	20
Total	19	1	1	1	1	1	1	25	100

El profesorado con el grado de doctor es un 96%

(b) Tipo de dedicación del profesorado (número de prof. a tiempo total / número de prof. a tiempo parcial)

	Matemática aplicada	Electrónica y Computación	Ingeniería Química	Ingeniería Agroforestal	Óptica	Arquitectura y Tecnología de Computadores	Ciencia de Computación e Inteligencia Artificial
CU	3/0		1/0		1/0		
TU/CEU	12/0					1/0	1/0
TEU	1/0						
Contratados	3/0	1/0		1/0			

(c) Estimación de dedicación media del profesorado al Máster (% para prof. a tiempo total / horas por semana para prof. a tiempo parcial)

	Matemática aplicada	Electrónica y Computación	Ingeniería Química	Ingeniería Agroforestal	Óptica	Arquitectura y Tecnología de Computadores	Ciencia de Computación e Inteligencia Artificial
CU	20%		20%		20%		
TU/CEU	20%					20%	20%
TEU	20%						
Contratados	20%	20%		20%			

(d) Experiencia docente del profesorado (número total de quinquenios en cada categoría)

	Matemática aplicada	Electrónica y Computación	Ingeniería Química	Ingeniería Agroforestal	Óptica	Arquitectura y Tecnología de Computadores	Ciencia de Computación e Inteligencia Artificial
CU	17		5		5		
TU/CEU	44					4	4
TEU	4						
Contratados	4	0		1			

(e) Experiencia investigadora del profesorado (número total de sexenios en cada categoría)

	Matemática aplicada	Electrónica y Computación	Ingeniería Química	Ingeniería Agroforestal	Óptica	Arquitectura y Tecnología de Computadores	Ciencia de Computación e Inteligencia Artificial
CU	15		5		4		
TU/CEU	24					3	2
TEU	1						
Contratados	2	0		1			

## II. Tablas de profesorado UDC

(a) Profesorado disponible (número total de profesores en cada categoría)

UDC	Matemáticas	Tecnologías de la información y las comunicaciones	Métodos matemáticos y de representación	Total	%
CU	1			1	11,11
TU/CEU	5	1	1	7	77,78
TEU					
Contratados	1			1	11,11
Total	7	1	1	9	100,00

Todo el profesorado tiene el grado de doctor



(b) Tipo de dedicación del profesorado (número de prof. a tiempo total / número de prof. a tiempo parcial)

	Matemáticas	Tecnologías de la información y las comunicaciones	Métodos matemáticos y de representación	Total
CU	1/0			1/0
TU/CEU	5/0	1/0	1/0	7/0
TEU				
Contratados	1/0			1/0

(c) Estimación de dedicación media del profesorado al Máster (% para prof. a tiempo total / horas por semana para prof. a tiempo parcial)

	Matemáticas	Tecnologías de la información y las comunicaciones	Métodos matemáticos y de representación	--
CU	20%			
TU/CEU	20%	20%	20%	
TEU				
Contratados	20%			

(d) Experiencia docente del profesorado (número total de quinquenios en cada categoría)

	Matemáticas	Tecnologías de la información y las comunicaciones	Métodos matemáticos y de representación	Total
CU	4			4
TU/CEU	10	2	3	15
TEU				
Contratados	0			

(e) Experiencia investigadora del profesorado (número total de sexenios en cada categoría)

	Matemáticas	Tecnologías de la información y las comunicaciones	Métodos matemáticos y de representación	Total
CU	3			3
TU/CEU	6	1	2	9
TEU				
Contratados	1			1

### III. Tablas de profesorado UVIGO

(a) Profesorado disponible (número total de profesores en cada categoría)

UVIGO	Matemática Aplicada	Mecánica de Fluidos	Mecánica	Teoría de la Señal	Total	%
CU	2				2	15,38
TU/CEU	6			2	8	61,54
TEU						
Contratados		1	2		3	23,08
Total	8	1	2	2	13	100,00

Todo el profesorado tiene el grado de doctor

(b) Tipo de dedicación del profesorado (número de prof. a tiempo total / número de prof. a tiempo parcial)

	Matemática Aplicada	Mecánica de Fluidos	Mecánica	Teoría de la Señal	Total
CU	2/0				2/0
TU/CEU	6/0			2/0	8/0
TEU					
Contratados		1/0	2/0		3/0

(c) Estimación de dedicación media del profesorado al Máster (% para prof. a tiempo total / horas por semana para prof. a tiempo parcial)

	Matemática Aplicada	Mecánica de Fluidos	Mecánica	Teoría de la Señal	--
CU	20%				
TU/CEU	20%			10%	
TEU					
Contratados		20%	10%		

(d) Experiencia docente del profesorado (número total de quinquenios en cada categoría)

	Matemática Aplicada	Mecánica de Fluidos	Mecánica	Teoría de la Señal	Total
CU	10				10
TU/CEU	24			6	30
TEU					
Contratados		2			2

(e) Experiencia investigadora del profesorado (número total de sexenios en cada categoría)

	Matemática Aplicada	Mecánica de Fluidos	Mecánica	Teoría de la Señal	Total
CU	8				8
TU/CEU	12			3	15
TEU					
Contratados		1			1

#### IV. Tablas de profesorado UC3M

(a) Profesorado disponible (número total de profesores en cada categoría y área de conocimiento)

UC3M	Matemática aplicada	Mecánica de Fluidos	Ingeniería aeroespacial	Física Aplicada	Teoría de la Señal	Total	%
CU	3	1			1	5	12,20
TU/CEU	6	6		2	3	17	41,46
TEU	-						
Contratados	7	9	3			19	46,34
Total	16	16	3	2		41	100,00

Todos los profesores tienen el grado de doctor

(b) Tipo de dedicación del profesorado (número de prof. a tiempo total / número de prof. a tiempo parcial)

	Matemática aplicada	Mecánica de Fluidos	Ingeniería aeroespacial	Física Aplicada	Teoría de la Señal	Total
CU	3/ 0	1/0			1	5/0
TU/CEU	6/0	6/0		2/0	3/0	17/0
TEU	-	-				
Contratados	6/1	9/0	3/0			18/0

(c) Estimación de dedicación media del profesorado al Máster (% para prof. a tiempo total / horas por semana para prof. a tiempo parcial)

	Matemática aplicada	Mecánica de Fluidos	Ingeniería aeroespacial	Física Aplicada	Teoría de la Señal
CU	20%	20%			20%
TU/CEU	20%	20%		20%	20%
TEU	-				
Contratados	20%	20%	20%		

(d) Experiencia docente del profesorado (número total de quinquenios en cada categoría)

	Matemática aplicada	Mecánica de Fluidos	Ingeniería aeroespacial	Física Aplicada	Teoría de la Señal	Total
CU	12	3			4	19
TU/CEU	13	10		6	9	38
TEU						
Contratados						

(e) Experiencia investigadora del profesorado (indicar número total de sexenios en cada categoría)

	Matemática aplicada	Mecánica de Fluidos	Ingeniería aeroespacial	Física Aplicada	Teoría de la Señal	Total
CU	11	3			4	18
TU/CEU	12	10		6	8	36
TEU						
Contratados	1					1

## V. Tablas de profesorado UPM

(a) Profesorado disponible (indicar número total de profesores en cada categoría)

UPM	Matemática	Ingeniería	Mecánica	Mecánica	Otras áreas(*)	Total	%
	Aplicada	Aeroespacial	de Fluidos	de Medios Continuos			
CU	8	3	3	2	1	17	43,59
TU/CEU	13			1	3	17	43,59
TEU							
Contratados	5					5	12,82
Total	26	3	3	3	4	39	100,00

(\*) Áreas de Explotación de Minas, Ingeniería Geológica y Física Aplicada.

Todo el profesorado tiene el grado de doctor.

(b) Tipo de dedicación del profesorado (número de prof. a tiempo total / número de prof. a tiempo parcial)

	Matemática Aplicada	Ingeniería Aeroespacial	Mecánica de Fluidos	Mecánica de Medios Continuos	Otras áreas(*)	Total
CU	8 / 0	3 / 0	3 / 0	2 / 0	1 / 0	17 / 0
TU/CEU	13 / 0			1 / 0	3/0	17 / 0
TEU						
Contratados	3 / 2					3 / 2

(c) Estimación de dedicación media del profesorado al Máster (% para prof. a tiempo total / horas por semana para prof. a tiempo parcial)

	Matemática Aplicada	Ingeniería Aeroespacial	Mecánica de Fluidos	Mecánica de Medios Continuos	Otras áreas(*)	Total
CU	10%	10%	10%	10%	10%	
TU/CEU	10%			10%	10%	
TEU						
Contratados	10% / 2h.					

(d) Experiencia docente del profesorado (indicar número total de quinquenios en cada categoría)

	Matemática Aplicada	Ingeniería Aeroespacial	Mecánica de Fluidos	Mecánica de Medios Continuos	Otras áreas(*)	Total
CU	39	11	12	8	3	73
TU/CEU	41			4	15	60
TEU						
Contratados	7					7

(e) Experiencia investigadora del profesorado (número total de sexenios en cada categoría)

	Matemática Aplicada	Ingeniería Aeroespacial	Mecánica de Fluidos	Mecánica de Medios Continuos	Otras áreas(*)	Total
CU	25	9	13	4	2	53
TU/CEU	13				8	21
TEU						
Contratados	3					3

## LÍNEAS de INVESTIGACIÓN

### Líneas de investigación de los profesores de las universidades gallegas (USC, UDC y UVIGO):

Por la experiencia previa en colaboración de las tres universidades gallegas en el área de Matemática Aplicada, las líneas de investigación se presentan conjuntamente detallando los investigadores referentes en cada una de ellas, para cada investigador se precisa su categoría, departamento y universidad:

- **Análisis matemático y resolución numérica de ecuaciones en derivadas parciales (EDP) y de ecuaciones diferenciales ordinarias (EDO).**
  - **Investigadores referentes:** Peregrina Quintela Estévez (CU, DMA, USC), M<sup>a</sup> Carmen Muñiz Castiñeira (TU, DMA, USC), Rafael Muñoz Sola (TU, DMA, USC)
- **Modelado, análisis y simulación numérica de problemas en ciencias aplicadas e ingeniería.**
  - **Investigadores referentes:** Juan Manuel Viaño Rey (CU, DMA, USC), Lino José Álvarez Vázquez (CU, DMAII, UVIGO), M<sup>a</sup> Elena Vázquez Cendón (TU, DMA, USC)
- **Modelado, análisis y simulación numérica de problemas industriales y empresariales.**
  - **Investigadores referentes:** Alfredo Bermúdez de Castro López-Varela (CU, DMA, USC), Carlos Vázquez Cendón (CU, DM, UDC), José Durany Castrillo (CU, DMAII, UVIGO)

(DMA= Departamento de Matemática Aplicada, DM= Departamento de Matemáticas)

- **Desarrollo de dispositivos ópticos integrados de acoplamiento modal direccional. Estudio clásico y cuántico. Desarrollo de transformadores modales para comunicaciones ópticas, procesado óptico y metrología óptica. Desarrollo de sensores ópticos integrados (por intercambio iónico en vidrio) de modo evanescente.**
  - **Investigadores referente:** Jesús Liñares (CU, Óptica, USC)

- **Ámbito logístico de flotas de vehículos: Gestión de parques de maquinaria agrícola, Optimización de rutas en recogida de leche y distribución de piensos, Modelización y simulación de la recolección de forrajes.**
  - **Investigador referente:** Carlos Amiama (CD, Ingeniería Agroforestal, USC)
- **Proyectos de ingeniería. Evaluación multicriterio de proyectos. Ordenación e planificación no medio rural. Metodologías de formulación, evaluación e integración. Ordenación productiva agraria. Desarrollo rural y calidad de vida. Presupuestos de proyectos. Desarrollo de bases de datos para proyectos de ingeniería.**
  - **Investigador referente:** Carlos José Álvarez (CU, Ingeniería Química, USC)
- **Arquitectura de sistemas paralelos. Desarrollo de algoritmos paralelos para problemas irregulares. Predicción y mejora del rendimiento de aplicaciones paralelas. Optimización de la jerarquía de memoria en problemas irregulares. Desarrollo de aplicaciones y middleware para sistemas Grid y Cloud**
  - **Investigador referente:** José Carlos Cabaleiro Domínguez (TU, Arquitectura y Tecnología de Computadores, USC)
- **Paralelización y Optimización de Aplicaciones en Arquitecturas Emergentes (procesadores multi y many-core, GPUs, FPGAs)**
  - **Investigador referente:** Juan Carlos Pichel Campos (IPD, Electrónica y Computación, USC)

#### **Líneas de investigación de los profesores de la UC3M:**

Del responsable de cada línea de investigación se precisa su departamento y el grupo de investigación.

- **Transporte electrónico en nanoestructuras, dislocaciones y plasticidad incipiente, grafeno, combustión, nucleación, mecánica estadística, astrodinámica, gravitación, métodos numéricos, métodos asintóticos.**
  - **Responsable:** Luis López Bonilla (Ciencia e Ingeniería de Materiales e Ingeniería Química, Modelización, simulación y Matemática Industrial)
- **Reconstrucción de imágenes en biomedicina, problemas directos e inversos en biofotónica, imagen molecular, tomografía óptica difusa mediante transporte radiactivo.**
  - **Responsable:** Miguel Ángel Moscoso Castro (Ciencia e Ingeniería de Materiales e Ingeniería Química, Imagen biomédica teórica y computacional)
- **Combustión/Flujos reactivos, Chorros, hidrodinámica de olas, flujo multifásico/burbujas, modelización de pilas de combustibles, biofluídica.**
  - **Responsable:** Antonio Luis Sánchez Pérez (Ingeniería térmica y de fluidos, Mecánica de Fluidos)



- **Propiedades ópticas y métodos de crecimiento/Transporte de carga y espín.**
  - **Responsable:** Rosa María de la Cruz Fernández (Física, Grupo de Nanoestructuras Semiconductoras)
- **Métodos numéricos y computacionales de estructuras electromagnéticas y dispositivos; arrays activos y pasivos de antenas, nuevas tecnologías de antenas y dispositivos, metamateriales, electronic band gap, frequency selective surfaces.**
  - **Responsable:** Magdalena Salazar Palma (Teoría de la Señal y Comunicaciones, Grupo de Radiofrecuencia)
- **Dinámica de fluidos computacional; turbulencia; aerodinámica exterior; combustión de chorros; mecánica orbital.**
  - **Responsable:** Manuel García Villalba (Bioingeniería e Ingeniería Aeroespacial)

#### **Líneas de investigación de los profesores de la UPM:**

A continuación se agrupan las líneas de investigación por áreas de conocimiento y se señala, al final de cada epígrafe, un investigador referente con indicación del Centro correspondiente.

#### **•Área de Matemática Aplicada:**

Movimientos fluidos con entrefases. Análisis de inestabilidades hidrodinámicas. Formación de patrones en sistemas dinámicos no lineales. Modelos de orden reducido de sistemas distribuidos. Análisis de capa límite. (José Manuel Vega, ETSI Aeronáuticos) Análisis Numérico. Métodos de Elementos y Volúmenes Finitos. Biología matemática. Optimización y control. (Rodolfo Bermejo, ETSI Industriales) Dinámica de sistemas. Aprendizaje en máquinas. Identificación mediante señales biométricas. Diagnóstico de fallos. Métodos numéricos en ecuaciones diferenciales. (Pedro Zufiría, ETSI Telecomunicación) Fractales y aplicaciones. (Miguel Ángel Martín, ETSI Agrónomos) Métodos de contorno y sus aplicaciones, dispersión de ondas acústicas y térmicas, problemas inversos de detección de defectos. (María Luisa Rapún, ETSI Aeronáuticos).

#### **•Área de Mecánica de Fluidos:**

Combustión. (Amable Liñán, ETSI Aeronáuticos) Análisis de la turbulencia. (Javier Jiménez, ETSI Aeronáuticos) Estudio de flujos multifásicos: sprays, burbujas, chorros. Análisis de capa límite. (Francisco J. Higuera, ETSI Aeronáuticos) Análisis de inestabilidades hidrodinámicas. (Vassilis Theofilis, ETSI Aeronáuticos).

#### **•Área de Ingeniería Aeroespacial:**

Plasmas para propulsión espacial. (Eduardo Ahedo, ETSI Aeronáuticos) Problemas dinámicos en turbomaquinaria. (Carlos Martel, ETSI Aeronáuticos) Sistemas y microsistemas fluido-térmicos: aspectos experimentales, cálculo y modelización. (Ángel Velázquez, ETSI Aeronáuticos).

• **Área de Mecánica de Medios Continuos:**

Problemas en elastoplasticidad. (Francisco J. Montáns, ETSI Aeronáuticos) Cálculo y Diseño de Estructuras. (Joaquín Martí, ETSI Minas).

• **Áreas de Explotación de Minas, Ingeniería Geológica y Física Aplicada:**

Modelado y Diseño de Voladuras en Roca. (José Ángel Sanchidrián, ETSI Minas). Modelización matemática y simulación numérica de flujos en medios porosos y medios fracturados. Almacenamiento subterráneo de CO<sub>2</sub>. (Francisco Javier Elorza, ETSI Minas). Propagación de ondas y métodos no destructivos (Rafael Medina, ETSI Minas).

**Personal de Administración y Servicios**

El personal de administración y servicios está compuesto por una técnico de gestión y dos técnicos informáticos.

La técnico de gestión se ocupa de centralizar toda la coordinación del máster, de responder preguntas de alumnos y profesores y de organizar la asignatura Taller de Problemas Industriales. Asimismo envía periódicamente información en forma de oferta de trabajos, cursos etc. que pueda interesar tanto a alumnos como a egresados del máster.

Los técnicos informáticos se encargan, uno del mantenimiento del equipo de videoconferencia, de su sistema de grabación y de todo el software que se utiliza en las distintas asignaturas y el otro del mantenimiento de la web del máster incluyendo la gestión de la secretaría virtual por la que comparten documentos elaborados por los docentes del máster. Además, en cada una de las universidades participantes hay una persona responsable del sistema de videoconferencia que se coordina con el técnico informático.

Los recursos económicos para el mantenimiento de este personal provienen de los grupos de investigación que participan en el Máster.

**Las empresas donde hay convenio de colaboración con el Máster de Ingeniería Matemática y que se extenderán para el máster objeto de la memoria son:**

1. AIMEN ([www.aimen.es](http://www.aimen.es)).
2. Analistas Financieros Internacionales (AFI) ([www.afi.es](http://www.afi.es)).

3. Aqua Ambiente (<http://www.aquaambiente.es/>)
4. AXA
5. BALIÑO S. A. ([www.balino.com](http://www.balino.com)).
6. BANESTO ([www.banesto.es/](http://www.banesto.es/)).
7. BBVA
8. CASTROSÚA ([www.castrosua.com](http://www.castrosua.com)).
9. Centro de Investigaciones Forestales de Lourizán.
10. Centro de Supercomputación de Galicia (CESGA) ([www.cesga.es](http://www.cesga.es)).
11. Centro Tecnológico de Automoción de Galicia (CTAG) ([www.ctag.com](http://www.ctag.com)).
12. Château Luchey-Halde ([www.luchey-halde.com/](http://www.luchey-halde.com/)).
13. CIS-MADEIRA ([www.cismadera.com](http://www.cismadera.com)).
14. COTESA (Centro de Observación y Teledetección Espacial, SAU) ([www.grupotecopy.es/cotesa](http://www.grupotecopy.es/cotesa)).
15. DAYCO ENSA S. L. ([www.daycoensa.com](http://www.daycoensa.com)).
16. ENDESA GENERACIÓN ([www.endesa.es](http://www.endesa.es)).
17. GAMELSA ([www.gamelsa.com](http://www.gamelsa.com)).
18. GMV (<http://www.gmv.com/en/>)
19. GRUPO ANTOLÍN ([www.grupoantolin.com](http://www.grupoantolin.com)).
20. IBERDROLA ([www.iberdrola.es](http://www.iberdrola.es)).
21. IKERLAN S. Coop ([www.ikerlan.es](http://www.ikerlan.es)).
22. INDIZEN Technologies (<http://www.indizen.com/>).
23. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (CSIC) ([www.ietcc.csic.es/](http://www.ietcc.csic.es/)).
24. Instituto de la Hidráulica de Cantabria (<http://www.ihcantabria.com/WebIH/en/>)
25. INSTITUTO ESPAÑOL DE OCEANOGRAFÍA, Centro Oceanográfico de A Coruña ([www.ieo.es](http://www.ieo.es)).
26. Instituto Tecnológico de Aragón (<http://www.ita.es/ita/>)
27. Instituto de Investigaciones Marinas (CSIC) ([www.iim.csic.es/](http://www.iim.csic.es/)).
28. LBEIN TECNALIA ([www.labein.es](http://www.labein.es)).
29. NAVANTIA Reparaciones Fene-Ferrol ([www.navantia.es](http://www.navantia.es)).
30. Next Limit Technologies ([www.nextlimit.com/](http://www.nextlimit.com/)).
31. NORVENTO Enerxía ([www.norvento.com/](http://www.norvento.com/)).
32. Centro Tecnológico de la Pesca ([www.cetpec.es](http://www.cetpec.es)).
33. RECSA ([www.recsa.com/](http://www.recsa.com/)).
34. SIMPPLE (<http://www.simpple.com/>).
35. SIMULA SOLUTIONS ([www.simulasolutions.com](http://www.simulasolutions.com)).
36. UNVI S. A. ([www.unvi-sa.com](http://www.unvi-sa.com)).
37. VICUS DESARROLLOS TECNOLÓGICOS, S. L. ([www.vicusdt.com](http://www.vicusdt.com))

## 7. RECURSOS MATERIALES Y SERVICIOS

### 7.1 Justificación de la adecuación de los medios materiales y servicios disponibles

La docencia del Máster se impartirá en las cinco universidades participantes por lo que se procede a detallar los recursos y servicios con los que cuentan y avalan la viabilidad a nivel de infraestructuras de las mismas.

#### Aulas de docencia presencial y dotadas de sistema videoconferencia y grabación

La experiencia de impartir siete ediciones del Máster en Ingeniería Matemática hace que las universidades gallegas dispongan de aulas que permiten la docencia por el sistema de videoconferencia y puedan facilitar a los estudiantes desde hace tres años videoapuntes en un número importante de materias. Las aulas corresponden a los centros que se indican y están dotadas de 20 puestos.

- **Aula USC:** "Aula de Informática 5". Facultad de Matemáticas
- **Aula UDC:** "Seminario 2.1". Facultad de Informática
- **Aula UVIGO:** "Laboratorio LD07" E.I. Telecomunicación (Edificio nuevo)

Las universidades UC3M y UPM disponen también de aulas de videoconferencia para impartir las clases:

- **Aula UC3M:** Aula Videoconferencia. Escuela Politécnica Superior
- **Aula UPM:** Aula 4 Videoconferencia. ETSI Aeronáuticos

El **software** al que tienen acceso los estudiantes permite impartir el software profesional y los métodos numéricos que figuran en los contenidos:

- MATLAB
- SOFTWARE-Fluídicos: Ansys (Workbench, DesignModeler, Meshing y Fluent)
- SOFTWARE-Sólidos: Patran-Nastran / Mentat-Marc
- SOFTWARE-Electromagnetismo y Óptica: Flux2D / XDFT / MaxFEM
- SOFTWARE-Acústica: Comsol y Actran
- SOFTWARE-Medio Ambiente: MIKE21 / TELEMAC 2D / FreeFem++ / software propio.
- SOFTWARE-Finanzas: Financial Toolbox Matlab / Matlab / Excel 2007

El profesorado y los estudiantes del Máster cuentan con la **Biblioteca** de cada uno de los centros mencionados y con **recursos informáticos** gestionados por el área TIC de cada una de las universidades participantes.

### 7.2 Previsión de adquisición de los recursos materiales y servicios necesarios

No son necesarios otros medios materiales, solamente el mantenimiento y renovación de los mismos.

## 8. RESULTADOS PREVISTOS

### 8.1 Justificación de los indicadores

La USC evalúa el rendimiento general de los estudiantes de sus titulaciones oficiales principalmente a través de seis indicadores:

- **Tasa de rendimiento:** porcentaje de créditos superados respecto de los matriculados.
- **Tasa de éxito:** porcentaje de créditos superados respecto de los presentados.
- **Tasa de eficiencia:** relación entre el número de créditos superados y el número de créditos de que se tuvieron que matricular, a lo largo de los estudios, para superarlos.
- **Tasa de abandono:** porcentaje de estudiantes que no se matricularon en los dos últimos cursos.
- **Duración media de los estudios:** media de los años empleados en titularse.
- **Tasa de titulación:** porcentaje de estudiantes que acaban la titulación en los años establecidos en el plan.

Los datos del Máster en Ingeniería Matemática impartido por las universidades gallegas, en los cursos 2008-09, 2009-10 y 2010-11, que se detallan en las siguientes tablas para los indicadores mencionados, son presentados en el informe de seguimiento del máster, con la valoración de "CONFORME" por la *Axencia para a Calidade do Sistema Universitario Galego* (ACSUG, 05 de julio de 2012). Los datos se presentan son los proporcionados por las universidades y son públicos en los sitios web relacionados con calidad de las tres universidades gallegas.

<b>Tasa de rendimiento</b>	<b>2008-09</b>	<b>2009-10</b>	<b>2010-11</b>
USC	63,41	92,05	70,68
UVIGO	88,55	79,18	68,11
UDC	95	92	73

El promedio de la tasa de rendimiento es de 80%.

<b>Tasa de abandono</b>	<b>2008-09</b>	<b>2009-10</b>	<b>2010-11</b>
USC	20	0	
UVIGO	0	0	
UDC	0	0	

<b>Tasa de eficiencia</b>	<b>2008-09</b>	<b>2009-10</b>	<b>2010-11</b>
USC	84,11	90,9	96,2
UVIGO	89,36	90,45	97,17
UDC	100	100	93,2

<b>Tasa de éxito</b>	<b>2008-09</b>	<b>2009-10</b>	<b>2010-11</b>
USC	88,64	96,43	100
UVIGO	99,01	98,42	95,93
UDC	100	96,7	100

<b>Tasa de graduación</b>	<b>2008-09</b>	<b>2009-10</b>	<b>2010-11</b>
USC	80		
UVIGO	60	46,15	
UDC			

La tasa de inserción laboral se presenta conjuntamente para el Máster en Ingeniería Matemática (MIM)

<b>Tasa de inserción laboral</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>
MIM	75	88,2	86,6

Recientemente la USC publicó el indicador de la duración media de los estudios de máster (<http://www.usc.es/gl/gobierno/vrcalidade/retaxmaster.html>), presentamos los resultados para el Máster en Ingeniería Matemática. La fecha de referencia de la información es 21/09/2011 y la documentación de referencia: Programa FIDES. Indicador 7c (ACSUG) SGIC marco. PM-01 Medición, Análisis y Mejora (USC)

<b>Duración media de los estudios</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>
USC	2.8	2.5	2

La Universidad Carlos III de Madrid ha fijado unos objetivos de mejora de estas tasas comunes en todas las titulaciones, por considerar que este objetivo común permite incrementar el nivel de compromiso de los profesores, de los responsables académicos de la titulación, de los Departamentos y de los Centros, así como de la comunidad universitaria en su conjunto, ya que además han sido aprobadas por el

Consejo de Gobierno de la Universidad Carlos III de Madrid en su sesión de 7 de febrero de 2008 junto con otra serie de medidas de acompañamiento para la implantación de los nuevos planes de estudio.

	Tasa de graduación	Tasa de Abandono	Tasa de eficiencia
<b>PROPUESTA VERIFICA</b>	<b>60%</b>	<b>20%</b>	<b>85%</b>

Aunque, como se ha indicado, las tasas actuales en estos estudios se consideran satisfactorias, los cambios introducidos en los planes de estudio, el cambio en el modelo de docencia, con clases en grupos reducidos y mecanismos de evaluación continua, así como las adaptaciones realizadas en la normativa de permanencia y matrícula de la Universidad van a permitir mejorarlas y conseguir los objetivos planteados.

Los nuevos planes han ajustado los contenidos al tiempo de trabajo real de los estudiantes, se han introducido sistemas de evaluación continua en todas las materias y en el último curso o semestre los planes limitan considerablemente la carga lectiva incluyendo el trabajo fin de máster y las prácticas profesionales.

Las normas de permanencia y matrícula, aunque han mantenido la orientación reflejada en los Estatutos de la Universidad Carlos III, respecto del número de convocatorias, la necesidad de aprobar el primer curso completo en un número de años determinado y la limitación de la libre dispensa, se han flexibilizado para introducir la modalidad matrícula a tiempo parcial, con el fin de cubrir las necesidades de los diferentes tipos de estudiantes, y también para permitir a los estudiantes la matrícula a tiempo completo, evitando la demora en sus estudios, ya que antes no siempre podían matricular un curso completo cuando tenían asignaturas pendientes.

Atendiendo a los requisitos de la Universidad Carlos III de Madrid y los datos de los cursos ya procesados en el Máster en Ingeniería Matemática impartido por las universidades gallegas, las previsiones de los indicadores son:

Propuesta	Tasa de rendimiento	Tasa de graduación	Tasa de Abandono	Tasa de eficiencia
<b>PROPUESTA MMI</b>	<b>70%</b>	<b>60%</b>	<b>20%</b>	<b>85%</b>

## 8.2 Progreso y resultados de aprendizaje

El nuevo modelo de aprendizaje que resulta del plan de estudios planteado y adaptado a las exigencias del Espacio Europeo, es un aprendizaje con una rica base de información, pero también de conocimiento práctico, de habilidades, de estrategias y vías de resolución de nuevos problemas, de intercambio y estímulo interpersonal.

Para valorar el progreso y los resultados del buen aprendizaje de los estudiantes de la titulación, así entendido, se cuenta con varios instrumentos.

Por un lado, se cuenta con unas encuestas que se realizan cuatrimestralmente a todos los estudiantes, donde valoran, entre otros aspectos, su propio nivel de preparación previo para poder seguir la

asignatura de forma adecuada. En ellas también valoran la utilidad de la materia y del método empleado para dicho aprendizaje y comprensión.

Junto a éste, otro instrumento para pulsar los resultados del aprendizaje es el informe-cuestionario que realizarán cuatrimestralmente los profesores sobre sus grupos de docencia, donde indicarán su percepción sobre el nivel de los alumnos, y si han participado en las diferentes actividades propuestas en cada materia.

Por otro lado, resultan esenciales las evaluaciones continuadas y directas del profesor de los conocimientos adquiridos por el estudiante durante el periodo docente, y cuyos sistemas se han detallado en el apartado 5º de esta memoria en cada una de las materias que conforman los planes de estudio.

Finalmente se han de destacar las evaluaciones del trabajo fin de máster.

## 9. GARANTÍA DE CALIDAD

**Sistema de garantía de calidad de la Facultad de Matemáticas de la Universidad coordinadora y responsable del SGC para el máster, USC:**

[http://www.usc.es/gl/centros/matematicas/Calidade/Sistema\\_Calidade.html](http://www.usc.es/gl/centros/matematicas/Calidade/Sistema_Calidade.html)

**Sistema de garantía de calidad de las universidades participantes:**

**UDC:** <http://sgic.udc.es/sequemento.php>

**UVIGO:**

[http://www.teleco.uvigo.es/index.php?option=com\\_content&view=article&id=40&Itemid=522&lang=es](http://www.teleco.uvigo.es/index.php?option=com_content&view=article&id=40&Itemid=522&lang=es)

**UC3M:** [http://www.uc3m.es/portal/page/portal/prog\\_mejora\\_calidad/sistema\\_garantia](http://www.uc3m.es/portal/page/portal/prog_mejora_calidad/sistema_garantia)

**UPM:** <http://www.aero.upm.es/etsia/mejora.html>

## 10. CALENDARIO DE IMPLANTACIÓN DE TITULACIÓN

CURSO DE LA TITULACIÓN IMPARTIDA EN EL CURSO ACADÉMICO QUE SE INDICA	
TITULACIÓN	2013/14 2014/15



MÁSTER UNIVERSITARIO EN MATEMÁTICA INDUSTRIAL	1º	1º Y 2º
---	----	---------

### 10.1 Curso de implantación

Curso 2013/14

### 10.2 Procedimiento de adaptación en su caso de los estudiantes de los estudios existentes al nuevo plan de estudios

Reconocimiento de asignaturas ya cursadas.

Todas las asignaturas los dos títulos oficiales (Máster Universitario en Ingeniería Matemática de las Universidades de Santiago de Compostela, A Coruña y Vigo, y Máster Universitario en Matemática Industrial de la Universidad Carlos III de Madrid) que se funden para dar lugar a la propuesta de máster objeto de esta memoria, tienen un reconocimiento directo en la propuesta de asignaturas que conforman las materias del Máster en Matemática Industrial.

### 10.3 Enseñanzas que se extinguen por la implantación del siguiente título propuesto

- Máster Universitario en Ingeniería Matemática de las Universidades de Santiago de Compostela, A Coruña y Vigo.
- Máster Universitario en Matemática Industrial de la Universidad Carlos III de Madrid.