

5. Planificación de las Enseñanzas

5.1 Descripción general del plan de estudios

a) Organización del plan de estudios

Las enseñanzas suman un total de 60 créditos ECTS impartidos en un curso académico. Estos se dividen en 45 créditos obligatorios (OB) y 15 créditos optativos (OP). Los 45 créditos obligatorios están organizados en cuatro asignaturas de 6 créditos, tres asignaturas de 3 créditos, una asignatura de *Métodos de investigación en Matemática Aplicada y Computacional* de 2 créditos y el Trabajo de Fin de Máster de 10 créditos. No se proponen itinerarios ni intensificaciones, con la intención de que el estudiante complete los 15 créditos restantes según el perfil con el que desee especializarse. A tal fin, puede elegir entre nueve asignaturas optativas, dos de ellas de 6 créditos y el resto de 3 créditos. Con objeto de equilibrar la carga de trabajo de los estudiantes entre los dos cuatrimestres, se prevé sugerirles que cursen 6 de los ECTS optativos en el primer cuatrimestre (en el que hay un número importante de asignaturas obligatorias) y los 9 ECTS optativos restantes en el segundo cuatrimestre, en el que la carga obligatoria es menor. Véase el cuadro 1 más abajo para la oferta específica de asignaturas optativas en los dos cuatrimestres.

En general, esta planificación pretende que los alumnos adquieran una formación básica común, pero que, al mismo tiempo, sea flexible para dar respuesta al carácter interdisciplinar del máster. Éste está dirigido a un amplio espectro de alumnos, que podrán ser recién graduados o profesionales interesados en profundizar en distintas herramientas matemático-computacionales de vanguardia. En este máster se destacarán, por igual, los fundamentos matemáticos y los computacionales para que los titulados puedan integrarse de forma efectiva en centros tecnológicos y en empresas con departamentos I+D+i importantes.

La estructura del plan de estudios enfatiza los aspectos matemáticos de lo que hoy se entiende como competencia STEM: una mezcla entre métodos matemáticos e informático-computacionales diseñados para resolver problemas científico-tecnológicos que comparten un alto grado de generalidad. Esta filosofía ha sido la que se ha tratado de mantener en el desarrollo del plan de estudios, compuesto por 3 materias: *Fundamentos de Matemática Aplicada* (24 ECTS), *Matemática Computacional* (27 ECTS), *Aplicaciones de las Matemáticas* (18 ECTS), a las que hay que añadir el *Trabajo de Fin de Máster* (12 ECTS). Estas materias, formadas por

asignaturas obligatorias y optativas de 6 y 3 ECTS, buscan un equilibrio entre una formación matemática sólida (*Fundamentos de Matemática Aplicada*) y una formación metodológica dirigida a resolver problemas reales (*Matemática Computacional, Aplicaciones de las Matemáticas*).

Los contenidos de estas materias pretenden, por un lado, cubrir la base matemática más importante que no se imparte en los cursos de grado de las universidades de nuestro país, y, por otro lado, exponer los métodos y tecnologías más actuales que son demandadas por las empresas y centros de investigación punteros de nuestro entorno. El programa es realista, para lo cual introduce las asignaturas básicas en el primer cuatrimestre, dejando las más específicas para el segundo. En primer cuatrimestre se ofrecen además algunas asignaturas optativas que, siendo de un nivel asequible, permiten a los alumnos que así lo deseen dotar a su formación de un perfil más aplicado. En el segundo cuatrimestre se completa la formación transversal de los alumnos con asignaturas obligatorias más breves, y se hace una oferta de asignaturas optativas en las que se mezclan asignaturas más teóricas con otras más aplicadas, de forma que el alumno pueda escoger las que mejor se ajusten a su formación e intereses.

Por último, este equilibrio entre formación rigurosa y aplicaciones es el que, creemos, hará atractivo este máster a un amplio espectro de graduados por su punto diferenciador frente a otros másteres centrados exclusivamente en las matemáticas.

La siguiente tabla resume el plan de estudios propuesto.

CUADRO 1

ORGANIZACIÓN TEMPORAL POR ASIGNATURAS DEL MÁSTER UNIVERSITARIO EN MATEMÁTICA APLICADA Y COMPUTACIONAL									
PRIMER CURSO									
C u r s o	C t r	ASIGNATURA	Tip o	E C T S	C u r s o	C t r	ASIGNATURA	Ti po	EC TS
1	1	Álgebra Lineal Aplicada y Computacional / Computational and Applied Linear Algebra	O	6	1	2	Optimización / Optimization	O	3
1	1	Técnicas computacionales para Ecuaciones Diferenciales / Computational techniques for Differential Equations	O	6	1	2	Matemática Discreta Aplicada / Applied Discrete Mathematics	O	3
1	1	Métodos avanzados en Análisis Aplicado / Advanced methods in Applied Analysis	O	6	1	2	Ecuaciones Estocásticas para Finanzas y Biología / Stochastic Equations for Finance and Biology	O	3
1	1	Modelización y Análisis No Lineal / Modeling and Nonlinear Analysis	O	6	1	2	Funciones Especiales y Polinomios Ortogonales / Special Functions and Orthogonal Polynomials	OP	3
1	1	Computación de Altas Prestaciones / High-Performance Computing	OP	6	1	2	Métodos avanzados para Ecuaciones Diferenciales No lineales / Advanced methods for nonlinear differential equations	OP	3
1	1	Aprendizaje Automático / Machine Learning	OP	6	1	2	Introducción a la Computación Cuántica / Introduction to Quantum Computing	OP	3
1	1	Técnicas y Protocolos Criptográficos / Cryptographic Protocols and Techniques	OP	3	1	2	Sistemas Complejos Biológicos y Socioeconómicos / Complex	OP	3

								Biological and Socio-economic Systems		
1	1	Datos masivos y encadenados / Big and Chained Data	OP	3		1	2	Trabajo fin de Máster / Master's Thesis	0	12
1	1	Perspectivas en Matemática Aplicada y Computacional / Perspective over Computational and Applied Mathematics	OP	3						

CUADRO 2

ESTRUCTURA DEL PLAN DE ESTUDIOS POR MATERIAS MÁSTER UNIVERSITARIO EN MATEMÁTICA APLICADA Y COMPUTACIONAL					
MATERIA	ASIGNATURA	EC TS	Tip o	C u r s o	C u a t r
Matemática Computacional/ Computational Mathematics	Álgebra Lineal Aplicada y Computacional / Computational and Applied Linear Algebra	6	O	1	1
	Técnicas computacionales para Ecuaciones Diferenciales / Computational techniques for Differential Equations	6	O	1	1
	Computación de Altas Prestaciones / High-Performance Computing	6	OP	1	1
	Aprendizaje Automático / Machine Learning	6	OP	1	1
	Introducción a la Computación Cuántica / Introduction to Quantum Computing	3	OP	1	2
	TOTAL ECTS MATERIA	27			
Fundamentos de Matemática Aplicada / Foundations of Applied Mathematics	Métodos avanzados en Análisis Aplicado / Advanced methods in Applied Analysis	6	O	1	1
	Optimización / Optimization	3	O	1	2
	Matemática Discreta Aplicada / Applied Discrete Mathematics	3	O	1	2
	Perspectivas en Matemática Aplicada y Computacional / Perspective over Computational and Applied Mathematics	3	OP	1	1
	Funciones Especiales y Polinomios Ortogonales / Special Functions and Orthogonal Polynomials	3	OP	1	2
	Métodos avanzados para Ecuaciones Diferenciales No lineales / Advanced methods for nonlinear differential equations	3	OP	1	2
TOTAL ECTS MATERIA	21				
Aplicaciones de las Matemáticas / Applications of Mathematics	Modelización y Análisis No Lineal / Modeling and Nonlinear Analysis	6	O	1	1
	Ecuaciones Estocásticas para Finanzas y Biología / Stochastic Equations for Finance and Biology	3	O	1	2

	Técnicas y Protocolos Criptográficos / Cryptographic Protocols and Techniques	3	OP	1	1
	Datos masivos y encadenados / Big and Chained Data	3	OP	1	1
	Sistemas Complejos Biológicos y Socioeconómicos / Complex Biological and Socio-economic Systems	3	OP	1	2
	TOTAL ECTS MATERIA	18			
Trabajo Fin de Máster / Master's Thesis	Trabajo fin de máster / Master's Thesis	12	TFM	1	2
	TOTAL ECTS MATERIA	12			

b) Planificación y gestión de la movilidad de estudiantes propios y de acogida

El Máster propuesto tiene vocación internacional, por lo que se fomentará el intercambio de estudiantes con instituciones de prestigio, y en especial con las que se tengan firmados acuerdos de movilidad. En este sentido, conviene recordar que la *Universidad Carlos III de Madrid* mantiene Convenios de Intercambio de estudiantes con más de 500 universidades en 50 países de todo el mundo. Gracias a ello, cerca de 1.200 estudiantes de nuestra universidad cursan cada año un cuatrimestre, o un curso completo, en una de esas universidades socias. Asimismo, nuestra universidad acoge a cerca de 1.400 estudiantes internacionales cada año procedentes de esas mismas universidades, lo que favorece un entorno cada vez más internacional en nuestros campus. A su vez, nuestra Universidad es miembro de prestigiosas organizaciones internacionales como la *Asociación Universitaria Iberoamericana de Postgrado* (AUIP), CINDA (Centro Interuniversitario de Desarrollo) y la *Red Iberoamericana de Estudios de Postgrado* (REDIBEP).

Todo lo referente a el intercambio de estudiantes se realiza en la *Universidad Carlos III de Madrid* a través de los distintos y variados *Programas de Movilidad* que gestiona el *Servicio de Relaciones Internacionales y Cooperación* (SERIC) con mucho éxito.

Cabe, además, destacar que el Máster propuesto cuenta con un elevado potencial para establecer convenios internacionales de colaboración y movilidad. Buena muestra de ello son los convenios ya existentes del *Programa de Doctorado en Ingeniería Matemática* con las siguientes universidades: *Institut National des Sciences Appliquées de Rouen* INSA

ROUEN en Francia, *International School of Management ISM Dortmund* en Alemania, *Katholieke Universiteit Leuven* en Bélgica, *Universita' degli Studi di Milano* en Italia, *Universidade de Aveiro* en Portugal, *Universidade de Coimbra* en Portugal, *Universidad Católica del Norte* en Antofagasta, Chile, *Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho UNESP* en Brasil, *Universidad Nacional de Colombia*, *Universidad de Colima* en México, *Universidad Autónoma de Guerrero* en México, *Universidad Simón Bolívar* en Venezuela, *Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo* en Perú, y las Universidades Complutense y Autónoma de Madrid como miembros de la Alianza 4U. La *Universidad Carlos III de Madrid* sigue trabajando actualmente en la firma de más convenios de colaboración.

En caso de que se formalicen nuevos acuerdos en el marco del nuevo Máster propuesto, la *Dirección del Máster*, junto con la *Comisión Académica del Máster* serán los encargados de asegurar la adecuación de los convenios de movilidad con los objetivos del título. Bajo la supervisión de la *Dirección del Máster* existirá un *coordinador y 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. Asimismo, las asignaturas incluidas en los contratos de estudios autorizadas por el tutor serán objeto de reconocimiento académico incluyéndose en el expediente del alumno. De igual manera, los estudiantes de másteres universitarios pueden participar en el programa *Erasmus placement*, y se reconocerá la estancia de prácticas en su expediente académico con el carácter previsto en el plan de estudios o como formación complementaria.

c) Procedimientos de coordinación docente horizontal y vertical del plan de estudios

La coordinación docente del *Máster Universitario en Matemática Aplicada y Computacional* es responsabilidad del *Director del Máster*. Corresponden al Director las siguientes actividades:

- Presidir la *Comisión Académica* de la titulación.
- Vigilar la calidad docente de la titulación.
- Procurar la actualización del plan de estudios para garantizar su adecuación a las necesidades sociales.
- Promover la orientación profesional de los estudiantes.
- Coordinar la elaboración de la Memoria Académica de Titulación.

La *Universidad Carlos III de Madrid* dispone de un *Sistema de Garantía Interna* de la Calidad (SGIC). Dicho sistema ha sido diseñado por la Universidad conforme a los criterios y directrices recogidas en los documentos "Directrices, definición y documentación de Sistemas de Garantía Interna de Calidad de la formación universitaria" y "Guía de Evaluación del diseño del

Sistema de Garantía Interna de Calidad de la formación universitaria” proporcionados por la ANECA (Programa AUDIT convocatoria 2007/08). Este diseño está formalmente establecido y es públicamente disponible. La ANECA emitió en febrero de 2009 una valoración POSITIVA del diseño del SGIC-UC3M. Este diseño se ha implantado por primera vez en el curso 2008/09.

Dentro del SGIC de la *Universidad Carlos III de Madrid*, la *Comisión Académica de la Titulación*, está definida como el órgano que realiza el seguimiento, analiza, revisa, evalúa la calidad de la titulación y las necesidades de mejora y aprueba la *Memoria Académica de Titulación*.

La *Comisión Académica del Máster Universitario en Matemática Aplicada y Computacional* estará formada por el *Director del Máster*, que preside sus reuniones, y por representantes de los Departamentos que imparten docencia en la titulación, así como por los alumnos y por algún representante del personal de administración y servicios vinculado con la titulación, siempre que sea posible. Respecto a los alumnos, es preferente la participación del delegado de la titulación electo en cada momento, y en su defecto o por ausencia, cualquier otro alumno de la titulación.

La *Comisión Académica del Máster* tendrá las siguientes responsabilidades:

- Supervisar los criterios aplicados en el proceso de selección de los estudiantes que serán admitidos en el Máster.
- Supervisar el correcto cumplimiento de los objetivos académicos.
- Gestionar todos los aspectos de transferencia y reconocimiento de créditos de acuerdo con la normativa de la Universidad.
- Y en general, gestionar y resolver todos los aspectos asociados con el correcto funcionamiento del Máster.
- Recoger, evaluar y gestionar las necesidades y propuestas de los alumnos, docentes y resto de miembros implicados en el proceso de enseñanza-aprendizaje en relación con la titulación.

Además, la *Comisión Académica del Máster* velará por la integración de las enseñanzas, intentando identificar y promover sinergias entre asignaturas, así como haciendo lo propio con sistemas de coordinación que garanticen evitar el solapamiento entre asignaturas y las lagunas en las mismas.

5.1 Description of the general program

a) General description of the program

This Master consists of 60 ECTS credits, organized in one academic year. These credits are divided in: 45 mandatory ECTS (OB) and 15 optional ECTS (OP). The 45 mandatory credits are organized into four subjects of 6 ECTS

each, 3 subjects of 3 ECTS each, one 2-credit subject on Research Methods in Computational and Applied Mathematics and the Masters Thesis (10 credits).

The Master does not present different itineraries, in order to allow the student to choose, among the 15 optional ECTS, those which fit better with his/her profile. With this aim, the student is able to choose between 9 optional subjects, two of them of 6 ECTS each, and the remaining ones with 3 ECTS each. With the goal of equilibrating the workload of the students within the first and second half-semester, the plan is to suggest them to take 6 of the optional ECTS in the first half-semester (which contains a relevant part of the mandatory subjects) and the remaining 9 optional ECTS in the second half-semester, when the mandatory workload is lighter. See table Cuadro 1 for the explicit academic offering of optional subjects in each half-semester.

In general, the goal of this planning is to allow all the students to acquire a basic common training and, at the same time, to be flexible enough to guarantee the multidisciplinary nature of the Master. This Master is targeted at a wide range of students, including recently graduated students or professionals who are interested in learning (or improving their knowledge on) different computational and applied cutting-edge mathematical tools. In this Master, both fundamental mathematical tools and computational techniques are equally emphasized, in order to help the graduated students to join in an effective way in technological centers as well as in companies with relevant I+D+i departments.

The structure of the program of this Master emphasizes the mathematical aspects of what is currently known as STEM skills, namely, a mixture of mathematical and computational methods, designed to solve general scientific and technological problems. This is the philosophy that has guided the development of the syllabus of this Master, consisting of three areas: *Fundamentals of Applied Mathematics* (24 ECTS), *Computational Mathematics* (27 ECTS), and *Applications of Mathematics* (18 ECTS), together with the *Master's Thesis* (12 ECTS). These areas, consisting of mandatory and optional subjects of 6 and 3 ECTS, aim for an equilibrium between a strong mathematical training (*Fundamentals of Applied Mathematics*) and a methodologic training, oriented to solving real problems (*Computational Mathematics* and *Applications of Mathematics*).

The contents of these areas aim, first, to cover the most relevant mathematical background which is not covered in the standard undergraduate courses in Spain and, second, to present the most recent methods and technologies that advanced companies and research centers in our environment demand. The program is realistic, and, for this, it offers the

basic subjects in the first half-semester, and leaves for the second half-semester the more specific subjects. In the first half-semester additional optional courses are offered which, being of an accessible level, may appeal to students who choose a training with a more applied profile. In the second half-semester students will take shorter transversal courses, while additional optional subjects are offered, which include some with a more theoretical approach, together with subjects having a more applied focus, so that the student is able to choose those that better fit with his/her background and interests. Finally, this equilibrium between rigorous basic and applied training is the one that, we believe, will make this Master very attractive for a wide range of graduate students, by contrast with other Masters which are more focused just on a mathematical training.

Tables *Cuadro 1* and *Cuadro 2* summarize the proposed program.

b) Planning and management of students mobility

The proposed Master has an international scope and, for this reason, the international students exchange with prestigious institutions will be promoted. In particular, with those institutions having mobility agreements with the *Universidad Carlos III de Madrid*. We want to emphasize that there are more than 500 mobility agreements between the *Universidad Carlos III de Madrid* and foreign universities, over more than 50 different countries. Thanks to these agreements, around 1.200 students from *Universidad Carlos III de Madrid* follow every year at least one semester (or even a full academic year) abroad in one of these universities. Also, the *Universidad Carlos III de Madrid* hosts every year around 1.400 foreign students coming from these universities. This results in a more international environment in the *Universidad Carlos III de Madrid* campuses. At the same time, the *Universidad Carlos III de Madrid* is a member of several prestigious international networks, like the *Asociación Universitaria Iberoamericana de Postgrado* (AUIP), CINDA (Centro Interuniversitario de Desarrollo) and the *Red Iberoamericana de Estudios de Postgrado* (REDIBEP).

The mobility in *Universidad Carlos III de Madrid* is carried out through the different *Mobility Programs*, which are managed by the *Servicio de Relaciones Internacionales y Cooperación* (SERIC).

It is also worth to emphasize that the proposed Master has a great potential to establish new international mobility agreements. A good indication of this potential is the number of agreements already established within the current *PhD Program on Mathematical Engineering* with the following universities: *Institut National des Sciences Appliquées de Rouen* INSA ROUEN in France, *International School of Management ISM Dortmund* in Germany, *Katholieke*

Universiteit Leuven in Belgium, *Università degli Studi di Milano* in Italy, *Universidade de Aveiro* in Portugal, *Universidade de Coimbra* in Portugal, *Universidad Católica del Norte* in Antofagasta, Chile, *Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho UNESP* in Brasil, *Universidad Nacional de Colombia*, *Universidad de Colima* in Mexico, *Universidad Autónoma de Guerrero* in Mexico, *Universidad Simón Bolívar* in Venezuela, *Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo* in Peru, and the *Universidad Complutense* and *Universidad Autónoma de Madrid*, as members of *Alianza 4U*. Some other mobility agreements are currently in progress.

In case of establishing new mobility agreements in the framework of the proposed Master, the *Director of the Master*, together with the *Comisión Académica del Máster*, will be in charge of guaranteeing the suitability of the mobility agreements with the goals of the Master. Under the supervision of the *Director of the Master*, there will be a *coordinator and tutor of the studies in mobility programs*, who will be in charge of the guidance of the agreements and will follow-up the changes and compliance of these agreements. At the same time, the subjects included in the mobility agreements, which are authorized by the coordinator, will be included in every individual student academic record. Similarly, the Master's students are eligible to participate in the *Erasmus placement program*, and their stay abroad will be included in their academic record according to the guidelines which are established in the academic program.

c) Procedures of horizontal and vertical teaching coordination in the academic program

The teaching coordination of the *Master in Computational and Applied Mathematics* will be under the responsibility of the *Director of the Master*. This includes the following tasks:

- Chair the *Comisión Académica* of the Master.
- Monitor the teaching quality of the Master.
- Look for updating the academic program in order to guarantee its adaptation to the social needs.
- Foster the professional guidance of the students.
- Coordinate the elaboration of the *Academic Memory* of the Master.

The *Universidad Carlos III de Madrid* has a *Quality Internal Guarantee System* (SGIC). Such a system has been designed by the university according to the guidelines established in the documents "Directrices, definición y documentación de Sistemas de Garantía Interna de Calidad de la formación universitaria" and "Guía de Evaluación del diseño del Sistema de Garantía Interna de Calidad de la formación universitaria" provided by the ANECA (Programa AUDIT, 2007/08). This design is formally established and is

publicly available. The ANECA issued in February 2009 a positive evaluation of the SGIC-UC3M design. This design has been introduced in the academic year 2008/09 for the first time.

As a part of the SGIC, the *Comisión Académica* of the Master, is the body that monitors, analyzes, revises, and evaluates the quality of the Master, together with its improvement needs, and also approves the *Academic Memoir of the Master*.

The *Comisión Académica* of the *Master on Computational and Applied Mathematics* will consist of the *Director of the Master*, who chairs its meetings, and by representatives of the academic Departments that are involved in the Master's teaching, as well as by a representative of the students (it is, in particular, recommended the participation of the elected Master's delegate or, in his/her absence, by any other student), together with another representative of the administration and services staff, if possible.

These are the responsibilities of the *Comisión Académica* of the Master:

- To supervise the criteria used in the application process to select the students that will be accepted in the Master.
- To supervise the correct compliance of the academic goals of the Master.
- To manage all aspects of transference and recognition of credits, according to the university rules.
- In general, to manage all issues related to the proper functioning of the Master.
- To receive, evaluate, and manage all needs and proposals by the students, teachers, and the rest of the members involved in the learning and teaching process of the Master.

Besides this, the *Comisión Académica* of the Master will look for ensuring the integration of all teachings, trying to promote synergies between different subjects, as well as establishing coordination systems that guarantee to avoid overlapping between different subjects and possible omissions in these subjects.

5.2 Estructura del plan de estudios

ACTIVIDADES FORMATIVAS DEL PLAN DE ESTUDIOS REFERIDAS A MATERIAS	
AF1	Clase teórica / Theoretical Lessons
AF2	Clases prácticas / Practical Lessons
AF3	Tutorías / Office hours
AF4	Trabajo en grupo / Group work
AF5	Trabajo individual del estudiante / Individual student work
AF6	Exámenes parciales y finales / Continuous and final assessments
AF7	Asistencia a seminarios científicos / Attendance to scientific seminars

METODOLOGÍAS DOCENTES FORMATIVAS DEL PLAN REFERIDAS A MATERIAS	
MD1	<p><i>Exposiciones en clase del profesor con soporte de medios informáticos y audiovisuales, en las que se desarrollan los conceptos principales de la materia y se proporciona la bibliografía para complementar el aprendizaje de los alumnos.</i></p> <p>In class presentations by the teacher with computer and audiovisual support, in which the main concepts of the course are developed. Bibliography is provided to complement the students' learning.</p>
MD2	<p><i>Lectura crítica de textos recomendados por el profesor de la asignatura: Artículos de prensa, informes, manuales y/o artículos académicos, bien para su posterior discusión en clase, bien para ampliar y consolidar los conocimientos de la asignatura.</i></p> <p>Critical reading of texts recommended by the course teacher: Press papers, reports, manuals and/or academic papers, either for later discussion in class, or to expand and consolidate knowledge of the course.</p>
MD3	<p><i>Resolución de casos prácticos, problemas, etc. planteados por el profesor de manera individual o en grupo</i></p> <p>Resolution of practical cases, problems, etc.... raised by the teacher individually or in a group.</p>

MD4	<p><i>Exposición y discusión en clase, bajo la moderación del profesor de temas relacionados con el contenido de la materia, así como de casos prácticos.</i></p> <p>In class presentation and discussion, under the teacher's moderation, of topics related to the content of the course, as well as practical cases.</p>
MD5	<p>Elaboración de trabajos e informes de manera individual o en grupo.</p> <p>Elaboration of works and reports individually or in group.</p>

SISTEMAS DE EVALUACIÓN DEL PLAN DE ESTUDIOS REFERIDOS A MATERIAS	
SE1	Participación en clase / Class participation
SE2	Trabajos individuales o en grupo realizados durante el curso/ Individual or group work carried out during the course
SE3	Examen final / Final assessment
SE4	Exámenes parciales / Continuous assessment
SE5	Presentación y defensa pública del TFM / Presentation and public defense of the Final Master Thesis

1.- TABLA DE COMPETENCIAS Y MATERIAS

TABLA DE COMPETENCIAS POR MATERIAS				
COMPETENCIAS	MATERIAS			
	M1	M2	M3	TFM
CB6	X	X	X	X
CB7	X	X	X	X
CB8	X	X	X	
CB9	X	X	X	X
CB10	X	X	X	X
CG1	X		X	X
CG2	X	X	X	X
CG3	X	X	X	
CG4	X	X	X	X
CG5	X	X	X	X
CG6	X	X	X	X
CG7	X	X	X	
CE1	X	X	X	X
CE2	X	X	X	X
CE3	X	X	X	X
CE4	X	X	X	X
CE5	X		X	X
CE6	X		X	X
CE7			X	X
CE8	X	X	X	X
CE9	X		X	X
CE10	X		X	X

CE11	X		X	X
CE12	X	X	X	X
CE13	X		X	
CE14		X	X	X
CE15				X
CE16				X

2.- TABLA DE METODOLOGÍAS Y MATERIAS

TABLA DE METODOLOGÍAS DOCENTES				
METODOLOGÍAS DOCENTE	MATERIAS			
	M1	M2	M3	TFM
MD1	X	X	X	
MD2	X	X	X	X
MD3	X	X	X	X
MD4	X	X	X	
MD5	X	X	X	X

3.- TABLA DE SISTEMAS DE EVALUACIÓN Y MATERIAS

TABLA DE SISTEMAS DE EVALUACIÓN POR MATERIAS				
SISTEMAS EVALUACIÓN	MATERIAS			
	M1	M2	M3	TFM
SE1	X	X	X	
SE2	X	X	X	
SE3	X	X	X	
SE4	X	X	X	
SE5				X

MATERIA 1	
Denominación: Matemática Computacional / Computational Mathematics	
Número de créditos ECTS	Carácter de la materia (obligatoria / optativa / mixto / trabajo fin de máster/etc.)
27	Obligatorias y optativas
Duración y ubicación temporal dentro del plan de estudios	
Esta materia está compuesta por 5 asignaturas: 2 de ellas son obligatorias y se imparten en el primer cuatrimestre (de 6 créditos cada una), y 3 son optativas, de las cuales 2 se imparten en el primer cuatrimestre (de 6 créditos cada una) y otra se imparte en el segundo (de 3 créditos).	
Competencias que el estudiante adquiere con esta materia	
<i>CB6, CB7, CB8, CB9, CB10</i> <i>CG1, CG2, CG3, CG4, CG5, CG6, CG7</i> <i>CE1, CE2, CE3, CE4, CE5, CE6, CE8, CE9, CE10, CE11, CE12, CE13</i>	
Resultados de aprendizaje que adquiere el estudiante	
<p>Esta materia comprende contenidos obligatorios sobre métodos numéricos y computacionales que son básicos en el contexto de la Matemática Aplicada y Computacional, tanto en el campo en sí como de cara a sus aplicaciones. Con arreglo a las preferencias de los alumnos, los contenidos optativos permiten profundizar en diversas líneas de desarrollo de la Matemática Computacional actual. Este carácter relativamente más especializado no requiere para cursar estos contenidos optativos una formación previa más allá de la planteada en los requisitos de acceso (para los ofrecidos en primer cuatrimestre) ni más allá de la proporcionada por las asignaturas obligatorias de primer cuatrimestre (para los ofrecidos en el segundo cuatrimestre).</p> <p>En particular, se prevé que los estudiantes adquieran conocimientos sobre: (1) El sistema de aritmética en coma flotante, esencialmente sobre la representación de números máquina, su separación absoluta y relativa, el redondeo, las operaciones aritméticas y sus efectos; (2) Definición, interpretación y estimación del condicionamiento de problemas numéricos y de la estabilidad de algoritmos; (3) Estimación de los errores involucrados en los métodos numéricos; (4) Aplicación de métodos numéricos en problemas concretos de ciencia e ingeniería, así como en entornos sociales; (5) Destreza en el manejo y la interpretación de las normas matriciales; (6) Definición y propiedades elementales (convergencia, errores, coste computacional) de los métodos estándar para la resolución de sistemas lineales de tamaño medio y de gran tamaño; (7) Definición y propiedades elementales (convergencia, errores, coste computacional) de los métodos estándar para la resolución de problemas de mínimos cuadrados; (8) Definición y</p>	

propiedades elementales (convergencia, errores, coste computacional) de los métodos estándar (directos e iterativos) para el cálculo de autovalores/autovectores y de valores singulares; (9) Identificar y comprender la aplicación del álgebra lineal numérica a diversos problemas de la ciencia, la tecnología y la sociedad; (10) Comprensión y manejo del método de diferencias finitas; (14) Comprensión y manejo de los métodos de elementos finitos; (15) Comprensión y manejo de los métodos espectrales para problemas de ecuaciones diferenciales periódicos y no periódicos; (16) Principios del formalismo cuántico; (17) Comprensión del modelo de circuito en computación cuántica; (18) Propiedades esenciales de los algoritmos cuánticos; (19) Comprensión de los principios básicos de la computación de altas prestaciones, incluyendo el diseño y análisis de aplicaciones; (20) Comprensión de los paradigmas de la programación paralela; (21) Manejo de algunas técnicas y herramientas básicas de paralelismo de datos; (23) Análisis del rendimiento, evaluación y optimización de aplicaciones; (24) Conocimiento y manejo de herramientas básicas de aprendizaje automático; (25) Motivación, fundamentos y uso de la regresión lineal y de la regresión logística; (26) Comprensión y destreza en el manejo de los métodos del núcleo y los métodos de agrupamiento; (27) Fundamentos, ventajas e inconvenientes, técnicas básicas y aplicaciones de la reducción de la dimensionalidad.

This subject block includes compulsory contents on computational and numerical methods which are essential in the context of Applied and Computational Mathematics, both per se and in view to the various applications of the field. Depending on personal preferences, the elective contents allow the students to deepen their competences in various lines of development of current Computational Mathematics. This more specialized orientation does not imply that the background required for students who take these courses goes beyond the general training required to enter the Masters program (for courses offered during the first half of the year) or that covered by compulsory courses of the first half of the year (for courses offered during the second half of the year).

Specifically, students are expected to acquire knowledge of: (1) Fundamentals of floating point arithmetic, mainly floating point representation, absolute and relative separation, rounding error, arithmetic operations and their effects; (2) Definition, interpretation and estimation of the conditioning of numerical problems and the stability of numerical algorithms; (3) Estimation of the rounding errors involved in numerical methods; (4) Applications of numerical methods in particular problems arising in science and engineering as well as social environments; (5) Ability in handling and interpreting matrix norms; (6) Definition and basic properties (convergence, errors, computational cost) of the standard methods for solving linear systems of moderate and large size; (7) Definition and basic properties (convergence, errors, computational cost) of the standard methods for solving least squares problems; (8) Definition and basic properties (convergence,

errors, computational cost) of the standard methods (direct and iterative) for computing eigenvalues/eigenvectors and singular values; (9) Identify and understand the application of numerical linear algebra to particular problems in science, technology, and social environments; (10) Understand, and ability to handle the finite difference method; (14) Understand, and ability to handle the finite elements method; (15) Understanding, and ability to handle, the basic spectral methods for periodic and non-periodic problems in differential equations; (16) Principles of quantum formalism; (17) Understanding of the the circuit model in quantum computation; (18) Basic properties of quantum algorithms; (19) Understanding the basic principles of high performance computing, including the analysis and design of applications; (20) Understanding of paradigms of parallel computing; (21) Ability to handle some basic tools and techniques of data parallelism; (23) Analysis of performance, evaluation, and optimization of applications; (24) Know and ability to handle basic tools of machine learning; (25) Motivation, fundamentals, and use of linear and logistic regression; (26) Understanding and ability to handle the kernel and grouping methods; (27) Fundamentals, advantages and drawbacks, basic tools, and applications of dimensionality reduction.

Actividades formativas de la materia indicando su contenido en horas y % de presencialidad

Código actividad	Nº Horas totales	Nº Horas Presenciales (2)	% Presencialidad Estudiante (3)
AF1	108	108	100
AF2	90	90	100
AF3	18	18	100
AF4	54	0	0
AF5	378	0	0
AF6	27	27	100
TOTAL MATERIA	675	243	36

Metodologías docentes que se utilizarán en esta materia

MD1, MD2, MD3, MD4, MD5

Sistemas de evaluación y calificación. Indicar su ponderación máxima y mínima

	Sistemas de evaluación	Ponderación mínima (%)	Ponderación Máxima (%)
	SE1	5	20
	SE2	5	100
	SE3	5	60
	SE4	5	40

Listado de Asignaturas de la materia

Asignatura	Créditos	Cuat.	Carácter	Idioma
Álgebra lineal aplicada y computacional / Computational and Applied Linear Algebra	6	1	Obligatoria	Inglés
Técnicas computacionales para ecuaciones diferenciales / Computational techniques for differential equations	6	1	Obligatoria	Inglés
Introducción a la computación cuántica / Introduction to Quantum Computation	3	2	Optativa	Inglés
Computación de altas prestaciones / High performance computing	6	1	Optativa	Español
Aprendizaje automático / Machine Learning	6	1	Optativa	Inglés

Descripción de contenidos

Temas **comunes** a las asignaturas:

1. Algoritmos.
2. Métodos numéricos y computacionales.
3. Errores en los métodos numéricos.
4. Estabilidad y convergencia.
5. Complejidad computacional.

Temas **específicos** de cada asignatura:

Álgebra lineal aplicada y computacional:

1. Aritmética en coma flotante. Condicionamiento y estabilidad.

2. Normas matriciales. El radio espectral.
3. Repaso de métodos directos para resolver sistemas lineales y problemas de mínimos cuadrados.
4. Métodos directos para el cálculo de autovalores y autovectores y valores singulares.
5. Métodos iterativos para resolver sistemas lineales.
6. Métodos iterativos para autovalores.
7. Aplicaciones del álgebra lineal numérica: Completación de matrices, cadenas de Markov, análisis de componentes principales, PageRank, compresión de imágenes.

Técnicas computacionales para ecuaciones diferenciales:

1. Diferencias finitas: problemas en una dimensión, y ecuaciones diferenciales parciales elípticas, parabólicas e hiperbólicas.
1. Consistencia, estabilidad y convergencia.
2. Introducción a elementos finitos: formulación variacional, errores y refinamiento.
3. Elementos finitos en 2D: ecuaciones elípticas, implementación.
4. Métodos espectrales para problemas periódicos: matrices de diferenciación, malla infinita, malla periódica.
5. Métodos espectrales para problemas no periódicos: interpolación polinómica, diferenciación espectral de Chebyshev, problemas de fronteras.

Introducción a la computación cuántica:

1. Formalismo cuántico: axiomas de la mecánica cuántica; aplicaciones básicas: teorema no-cloning, teleportación, codificación superdensa y algoritmo de Deutsch-Jozsa.
2. Modelo de circuito en computación cuántica: puertas cuánticas; universalidad.
3. Algoritmos cuánticos: búsqueda (algoritmo de Grover); factorización (transformada de Fourier cuántica y algoritmo de Shor).

Computación de altas prestaciones:

1. Principios de la computación de altas prestaciones.
2. Diseño y análisis de aplicaciones de altas prestaciones.
3. Paradigmas de programación paralela.
4. Paralelismo de datos mediante técnicas Big Data.
5. Análisis del rendimiento, evaluación y optimización de aplicaciones.

Aprendizaje automático:

1. Introducción al aprendizaje automático.
2. Métodos lineales: regresión lineal y logística.
3. Métodos del núcleo: GPs y SVMs.
4. Agrupamiento: K-means y agrupación espectral.

5. Reducción de la dimensionalidad: PCA, PLS, selección de características

Common topics to the subjects:

1. Algorithms.
2. Numerical and computational methods.
3. Errors in numerical methods.
4. Stability and convergence.
5. Computational complexity.

Specific topics to each subject:

Computational and Applied Linear Algebra:

1. Floating point arithmetic. Conditioning and stability.
2. Matrix norms. The spectral radius.
3. Review on direct methods for solving linear systems and least squares problems.
4. Direct methods for computing eigenvalues and eigenvectors and singular values.
5. Iterative methods for solving linear systems.
6. Iterative methods for computing eigenvalues.
7. Applications of Numerical Linear Algebra: Matrix completion, Markov chains, principal component analysis, PageRank, image compression.

Computational techniques for differential equations:

1. Finite differences: one dimensional problems, and elliptic, parabolic and hyperbolic partial differential equations.
1. Consistency, stability and convergence.
2. Introduction to finite elements: variational formulation, errors y refinement.
3. Finite elements in 2D: elliptic equations, implementation.
4. Spectral methods for periodic problems: differentiation matrices, infinite and periodic grids.
5. Spectral methods for nonperiodic problems: polynomial interpolation, Chebyshev spectral differentiation, boundary problems

Introduction to Quantum computation:

1. Quantum formalism: The axioms of quantum mechanics; basic applications: no-cloning theorem, teleportation, superdense coding and Deutsch-Jozsa algorithms.
2. The circuit model for quantum computation: quantum gates; universality.
3. Quantum algorithms: search (Grover's algorithm), factorization (quantum Fourier transform and Shor's algorithm).

High-performance computing:

1. Principles of high-performance computing.
2. Design and analysis of high-performance applications.
3. Paradigms for parallel programming.
4. Data parallelism via Big Data techniques.
5. Analysis of application performance, evaluation, and optimization.

Machine Learning:

1. Introduction to machine learning.
2. Linear methods: linear and logistic regression.
3. Kernel methods: SVMs and GPs.
4. Clustering: K-means and spectral clustering.
5. Dimensionality reduction: PCA, PLS, feature selection.

Lenguas en que se impartirá la materia

Inglés y español

Observaciones

En todas las asignaturas de esta materia el enfoque tiene un carácter marcadamente computacional, tanto en aquellas asignaturas cuyo enfoque es más "matemático" (concretamente, las asignaturas "Álgebra lineal aplicada y computacional", "Técnicas computacionales para ecuaciones diferenciales" e "Introducción a la computación cuántica"), como aquellas con un enfoque más "computacional" (concretamente, las asignaturas "Computación de altas prestaciones" y "Aprendizaje automático").

All subjects of this subject block, have a strongly computational approach. This happens either for those subjects which are more "mathematical-oriented" (like "Applied and Computational Linear Algebra", "Computational techniques for differential equations", or "Introduction to Quantum Computation") and for those which are more "computational-oriented" (like "High Performance Computing" and "Machine Learning").

MATERIA 2	
Denominación: Fundamentos de Matemática Aplicada / Foundations of Applied Mathematics	
Número de créditos ECTS	Carácter de la materia (obligatoria / optativa / mixto / trabajo fin de máster/etc.)
21	Obligatorias y optativas
Duración y ubicación temporal dentro del plan de estudios	
Esta materia está compuesta por 6 asignaturas: 3 de ellas son obligatorias, de las que una se imparte en el primer cuatrimestre (de 6 créditos) y 2 se imparten en el segundo (de 3 créditos). Las otras 3 asignaturas son optativas (de 3 créditos), de las cuales una se imparte en el primer cuatrimestre y las otras dos en el segundo.	
Competencias que el estudiante adquiere con esta materia	
<i>CB6, CB7, CB8, CB9, CB10 CG2, CG3, CG4, CG5, CG6, CG7 CE1, CE2, CE3, CE4, CE8, CE12, CE14</i>	
Resultados de aprendizaje que adquiere el estudiante	
<p>Adquisición de conocimientos sobre: (1) Aspectos básicos de teoría de la medida y espacios normados. (2) Propiedades de mejor aproximación y aproximación uniforme. (3) Aproximación por polinomios algebraicos y trigonométricos. (4) Aproximación e interpolación por splines y funciones racionales. (5) Análisis en términos de frames. (5) Optimización: Programación lineal y cuadrática. (6) Optimización convexa y no convexa. (7) Aplicaciones de la optimización: sistemas de recomendación. (8) Teoría espectral de grafos. (9) Operaciones sobre grafos y ejemplos de aplicaciones computacionales. (10) Funciones especiales notables. (11) Propiedades básicas de las familias de polinomios ortogonales en la recta real. (12) Métodos asintóticos para ecuaciones diferenciales ordinarias e integrales: Laplace, punto silla, descenso rápido. (13) Teorías del punto fijo y de bifurcación y sus aplicaciones a ecuaciones diferenciales en derivadas parciales. (14) Soluciones autosemejantes y su relación con comportamientos bajo cambios de escala. (15) Problemas no lineales notables en ecuaciones en derivadas parciales: ondas viajeras, soluciones con soporte compacto. (16) Enseñanza, investigación y doctorado en Matemática Aplicada y Computacional en general y en el Departamento de Matemáticas de la UC3M.</p> <p>Knowledge acquisition of: (1) Basic aspects of measure theory and normed spaces. (2) Properties of best approximation and uniform approximation. (3) Approximation by algebraic and trigonometric polynomials. (4) Approximation and interpolation by splines and by rational function. (5) Analysis in terms of frames. (6) Optimization:</p>	

Linear and quadratic programming. (6) Convex and non-convex optimization. (7) Optimization applications: recommendation systems. (8) Spectral graph theory. (9) Operations on graphs and computational applications. (10) Important special functions. (11) Important properties of orthogonal polynomials on the real line. (12) Asymptotic methods for ordinary differential equations and for integrals. (13) Fixed point theory and bifurcation theory and applications to partial differential equations. (14) Self-similar solutions and their relation to behavior under scale transformations. (15) Important nonlinear problems related with partial differential equations: traveling waves, solutions with compact support. (16) Teaching, research, and Ph.D. in Applied and Computational Mathematics in general, and at Departamento de Matemáticas UC3M.

Actividades formativas de la materia indicando su contenido en horas y % de presencialidad

Código actividad	Nº Horas totales	Nº Horas Presenciales (2)	% Presencialidad Estudiante (3)
AF1	84	84	100
AF2	70	70	100
AF3	14	14	100
AF4	42	0	0
AF5	294	0	0
AF6	21	21	100
TOTAL MATERIA	525	189	36

Metodologías docentes que se utilizarán en esta materia

MD1, MD2, MD3, MD4, MD5

Sistemas de evaluación y calificación. Indicar su ponderación máxima y mínima

Sistemas de evaluación	Ponderación mínima (%)	Ponderación Máxima (%)
SE1	5	20
SE2	5	100

	SE3	5	60
	SE4	5	40

Listado de Asignaturas de la materia

Asignatura	Créditos	Cuat.	Carácter	Idioma
Métodos avanzados en Análisis Aplicado / Advanced methods in Applied Analysis	6	1	Obligatoria	Inglés
Optimización / Optimization	3	1	Obligatoria	Inglés
Matemática Discreta Aplicada / Applied Discrete Mathematics	3	1	Obligatoria	Inglés
Perspectivas en Matemática Aplicada y Computacional / Perspectives of Applied and Computational Mathematics	3	1	Optativa	Inglés
Funciones Especiales y Polinomios Ortogonales / Special Functions and Orthogonal Polynomials	3	2	Optativa	Inglés
Métodos avanzados para Ecuaciones Diferenciales No lineales / Advanced methods for nonlinear differential equations	3	2	Optativa	Inglés

Descripción de contenidos

Los contenidos obligatorios de esta materia completan y perfeccionan los conocimientos de los alumnos sobre aspectos de las Matemáticas que son fundamentales en el contexto de la Matemática Aplicada y Computacional. Los contenidos optativos permiten una mayor profundización en estos y/o en cuestiones de interés y utilidad para la investigación en Matemática Aplicada y Computacional.

Temas **comunes** a las asignaturas:

1. Métodos analíticos.
2. Variables reales, discretas o continuas.
3. Funciones no lineales de varias variables.
4. Problemas de óptimos.
5. Ejemplos/aplicaciones de relevancia Aplicada y/o Computacional.

Temas **específicos** de cada asignatura:

Métodos avanzados en Análisis Aplicado:

1. Ampliación teoría de la medida.
2. Problema de mejor aproximación en espacios normados. Existencia y unicidad.
3. Aproximación uniforme de funciones continuas mediante polinomios algebraicos.
4. Aproximación mediante polinomios algebraicos y trigonométricos en L^2 .
5. Aproximación mediante polinomios algebraicos en espacios L^1 .
6. Aproximación e interpolación mediante splines. B-splines. Computación y aplicaciones.
7. Análisis mediante frames.
8. Aproximación mediante funciones racionales. Aproximantes de Padé. Aplicaciones.

Optimización:

1. Introducción a la optimización matemática.
2. Programación lineal y cuadrática: métodos del simplex. Ejemplos geométricos.
3. Optimización convexa: Conjuntos y funciones convexas. Problema dual de Laplace. Algoritmos.
4. Optimización no convexa.
5. Aplicaciones: minimización l_1 y *compressed sensing*, recuperación de matrices de rango pequeño y el problema de Netflix.

Matemática Discreta Aplicada:

1. Teoría espectral de grafos. Matrices de adyacencia y laplaciana.
2. Emparejamientos y recubrimientos en grafos bipartidos.
3. Familias expander, grafos de Cayley y aplicaciones.
4. Coloreado de grafos.

Perspectivas en Matemática Aplicada y Computacional:

1. Recursos computacionales en Matemática Aplicada.
2. Aplicaciones de las Matemáticas para la Industria y la Sociedad
3. Enseñanza de la Matemática Aplicada y Computacional.
4. Temas de investigación y Doctorado en el Departamento de Matemáticas.

Funciones Especiales y Polinomios Ortogonales:

1. Funciones especiales de la Física matemática. Funciones hipergeométricas.
2. Polinomios ortogonales en la recta real. Propiedades algebraicas y analíticas. Problemas computacionales.
3. Introducción a ecuaciones de Painlevé. Casos continuo y discreto.
4. Métodos asintóticos para EDO e integrales. Métodos de Laplace y punto silla. Caminos de descenso rápido.

Métodos avanzados para Ecuaciones Diferenciales No lineales:

1. Teoría de Punto fijo: Aplicaciones contractivas y Teoremas de Punto fijo.
2. Teoría de Bifurcación: Clasificación de bifurcaciones. Bifurcación global.
3. Cambios de escala y autosemejanza: Clasificación de soluciones. Grupos de transformación.
4. Aplicaciones: Ondas periódicas y viajeras, problemas no lineales de valores propios, ecuación de medios porosos, ecuaciones cuasilineales.

The compulsory contents of this subject group complete and perfect the students knowledge on aspects of Mathematics which are essential in the context of Applied and Computational Mathematics. The elective contents allow further specialization in these and/or interesting and/or useful issues for research in Applied and Computational Mathematics.

Common topics to the subjects:

1. Analytical methods.
2. Real discrete or continuous variables.
3. Nonlinear functions of several variables.
4. Optimality problems.
5. Examples/applications of Applied and/or Computational relevance.

Specific topics to each subject:

Advanced methods in Applied Analysis:

1. Advanced Topics in Measure theory.
2. Best approximation in normed spaces. Existence and uniqueness.
3. Uniform approximation of continuous functions with algebraic polynomials.
4. Approximation with algebraic and trigonometric polynomials in L_2 .
5. Approximation with algebraic polynomials in L_1 .
6. Interpolation and approximation with splines. B-splines. Computation and applications.
7. Frame analysis.
8. Approximation with rational functions. Padé Approximants. Applications.

Optimization:

1. Introduction to mathematical optimization.
2. Linear and quadratic programming: Simplex methods. Geometrical examples.
3. Convex optimization: Convex sets and functions. Laplace dual problem. Algorithms.
4. Non-convex optimization: Global and local optimization.

5. Applications: l1 minimization and compressed sensing, low-rank matrix recovery and the Netflix problem.

Applied Discrete Mathematics:

1. Spectral graph theory. Adjacency and Laplacian matrices.
2. Matching and covers in bipartite graphs.
3. Expander families, Cayley graphs, and applications.
4. Graph coloring.

Perspectives of Applied and Computational Mathematics:

1. Computational resources in Applied Mathematics
2. Applications of the Mathematics to industry and society.
3. Teaching Applied and Computational Mathematics.
4. Research topics and PhD in the Department of Mathematics.

Special Functions and Orthogonal Polynomials:

1. Special Functions of Mathematical Physics. Hypergeometric functions.
2. Orthogonal polynomials in the real line. Algebraic and analytic properties. Computational problems.
3. An introduction to continuous and discrete Painlevé equations.
4. Asymptotic methods for ODE and integrals. Laplace and saddle point methods. Steepest descent paths.

Advanced methods for nonlinear differential equations:

1. Fixed point Theory: Contraction mappings and Fixed Point Theorems.
2. Bifurcation Theory: Bifurcation types. Global bifurcation.
3. Scaling and Self-similarity: Classification of self-similarity. Transformation groups.
4. Applications: Periodic and traveling waves, nonlinear eigenvalue problems, porous media equation, quasilinear equations.

Lenguas en que se impartirá la materia

Inglés.

Observaciones

MATERIA 3	
Denominación: Aplicaciones de las Matemáticas / Applications of Mathematics	
Número de créditos ECTS	Carácter de la materia (obligatoria / optativa / mixto / trabajo fin de máster/etc.)
18	Obligatorias y optativas
Duración y ubicación temporal dentro del plan de estudios	
Esta materia está compuesta por 5 asignaturas: dos de ellas son obligatorias; una de 6 créditos que se imparte en el primer cuatrimestre y otra de tres créditos que se imparte en el segundo. Las tres asignaturas restantes son optativas de 3 créditos, de las que dos se ofrecen en el primer cuatrimestre y la tercera se imparte en el segundo cuatrimestre.	
Competencias que el estudiante adquiere con esta materia	
<i>CB6, CB7, CB8, CB9, CB10</i> <i>CG1, CG2, CG3, CG4, CG5, CG6, CG7</i> <i>CE1, CE2, CE3, CE4, CE5, CE6, CE7, CE8, CE9, CE10, CE11, CE12, CE13, CE14</i>	
Resultados de aprendizaje que adquiere el estudiante	
<p>Esta materia completa los conocimientos obligatorios del Máster en lo relativo a las aplicaciones de las Matemáticas a la modelización de sistemas y procesos de la naturaleza, la tecnología o la sociedad. Además, permite, en función las preferencias de los estudiantes, profundizar en éstas o en otras aplicaciones de las Matemáticas con un carácter más computacional. En el caso de estas últimas, que se ofrecen en primer cuatrimestre, no se requiere para cursar estos contenidos optativos una formación previa más allá de la planteada en los requisitos de acceso en el máster.</p> <p>En particular, se pretende la adquisición de conocimientos sobre:</p> <p>(1) Aspectos generales de la modelización matemática, órdenes de magnitud y análisis dimensional. (2) Ecuaciones diferenciales y en diferencias como modelos deterministas. (3) Métodos analíticos aproximados para estudiar ecuaciones no lineales: perturbaciones regulares y singulares. (4) Sistemas dinámicos básicos orientados al análisis de bifurcación: propiedades emergentes. (5) Caracterización del caos en sistemas dinámicos deterministas. (6) Aspectos básicos de la modelización estocástica: modelos en tiempo discreto; descripciones del movimiento aleatorio. (7) Procesos estocásticos en tiempo continuo: procesos difusivos. (8) Integrales estocásticas y definición y propiedades de las ecuaciones diferenciales estocásticas. (9) Métodos numéricos básicos para ecuaciones diferenciales estocásticas y simulaciones de Langevin. (10) Aplicaciones paradigmáticas de las ecuaciones diferenciales estocásticas en finanzas y en</p>	

biología. (11) Aspectos básicos de los sistemas complejos a través de modelos de percolación. (12) Fenómenos críticos como paradigma de las propiedades emergentes. (13) Redes complejas como sustrato de los sistemas complejos. (14) Procesos de propagación en sistemas biológicos y socioeconómicos, en el continuo y sobre redes. (15) Introducción a protocolos y primitivas criptográficos. (16) Criptoanálisis de protocolos y primitivas criptográficos. (17) Implementación de algoritmos y protocolos criptográficos. (18) Aplicación de bases de datos y arquitecturas distribuidas para datos masivos (big data). (19) Introducción a las tecnologías de cadenas de bloques (blockchain). (20) Principales aplicaciones del blockchain.

This block of subjects completes the compulsory Master contents on applications of Mathematics to the modeling of systems and processes in Nature, technology or society. Moreover, depending on student preferences, it allows for a deepening into these or other applications of Mathematics with a stronger computational orientation. In the case of the latter courses, which are offered during the first half of the year, no further background is required from interested students beyond the general training required to enter the Masters program.

In particular, knowledge is expected to be acquired on:

(1) General aspects of mathematical modeling, orders of magnitude and dimensional analysis. (2) Differential and difference equations as deterministic models. (3) Approximate analytical methods for nonlinear equations: regular and singular perturbations. (4) Basic dynamical systems with an orientation to bifurcation analysis: emergent properties. (5) Characterization of chaos in deterministic systems. (6) Basic aspects of stochastic modeling: discrete time models; descriptions of random motion. (7) Stochastic processes in continuous time: diffusive processes. (8) Stochastic integrals and definition and properties of stochastic differential equations. (9) Basic numerical methods for stochastic differential equations and Langevin simulations. (10) Paradigmatic applications of stochastic differential equations in finance and biology. (11) Basic aspects of complex systems via percolation models. (12) Critical phenomena as a paradigm of emergent properties. (13) Complex networks as substrates for complex systems. (14) Propagation processes in biological and socio-economical systems, in the continuum and on networks. (15) Introduction to cryptographic protocols and primitives. (16) Cryptoanalysis of cryptographic protocols and primitives. (17) Implementation of cryptographic algorithms and protocols. (18) Application of databases and distributed architectures for big data. (19) Introduction to blockchain technologies. (20) Main applications of blockchain.

Actividades formativas de la materia indicando su contenido en horas y % de presencialidad

Código actividad	Nº Horas totales	Nº Horas Presenciales (2)	% Presencialidad Estudiante (3)
AF1	72	72	100
AF2	60	60	100
AF3	12	12	100
AF4	36	0	0
AF5	252	0	0
AF6	18	18	100
TOTAL MATERIA	450	162	36

Metodologías docentes que se utilizarán en esta materia

MD1, MD2, MD3, MD4, MD5

Sistemas de evaluación y calificación. Indicar su ponderación máxima y mínima

Sistemas de evaluación	Ponderación mínima (%)	Ponderación Máxima (%)
SE1	5	20
SE2	5	100
SE3	5	60
SE4	5	40

Listado de Asignaturas de la materia

Asignatura	Créditos	Cuat.	Carácter	Idioma
Modelización y Análisis No Lineal / Modeling and Nonlinear Analysis	6	1	Obligatoria	Inglés

Ecuaciones Estocásticas para Finanzas y Biología / Stochastic Equations for Finance and Biology	3	2	Obligatoria	Inglés
Sistemas Complejos Biológicos y Socioeconómicos / Complex Biological and Socio-economic Systems	3	2	Optativa	Inglés
Técnicas y Protocolos Criptográficos / Cryptographic Protocols and Techniques	3	1	Optativa	Español
Datos masivos y encadenados / Big and Chained Data	3	1	Optativa	Español

Descripción de contenidos

Temas **comunes** a las asignaturas:

1. Aplicaciones de la Matemática.
2. Naturaleza y estructura de los datos.
3. Algoritmos.
4. Implementación computacional.

Temas **específicos** de cada asignatura:

Modelización y Análisis No Lineal:

1. Modelización: generalidades. Análisis dimensional.
2. Modelos deterministas: ecuaciones diferenciales y en diferencias.
3. Métodos perturbativos: regulares y singulares.
4. Estabilidad y bifurcación.
5. Caos determinista: propiedades y caracterización.
6. Modelos estocásticos en tiempo discreto: cadenas de Markov, procesos de renovación y de ramificación.
7. Movimiento aleatorio. Proceso de Poisson.

Ecuaciones Estocásticas para Finanzas y Biología:

1. Procesos estocásticos difusivos y ecuación de Fokker-Planck.
2. Integrales estocásticas.
3. Ecuaciones diferenciales estocásticas.
4. Métodos numéricos para ecuaciones estocásticas. Simulación de Langevin.
5. Aplicaciones: problema de portafolio de Merton, modelo de Black-Scholes, cinética bioquímica, evolución en biología.

Sistemas Complejos Biológicos y Socioeconómicos:

1. Introducción a los sistemas complejos: Modelos de percolación.

2. Propiedades emergentes: Fenómenos críticos y relación con modelo de Ising.
3. Redes complejas: propiedades y caracterización. Procesos dinámicos.
4. Sistemas biológicos: procesos epidemiológicos y evolutivos.
5. Propagación de la información en sistemas socio-económicos.

Técnicas y Protocolos Criptográficos:

1. Protocolos criptográficos. Protocolos criptográficos ultraligeros.
2. Primitivas criptográficas clásicas y modernas.
3. Criptoanálisis de protocolos criptográficos.
4. Criptoanálisis de primitivas criptográficas.
5. Implementación de algoritmos y protocolos criptográficos.

Datos masivos y encadenados:

1. Aplicación de bases de datos para Big Data.
2. Arquitecturas distribuidas para integración y análisis de datos.
3. Tecnologías de bases de datos encadenados. Blockchain (cadenas de bloques).
4. Funcionamiento y tipos de cadenas de bloques.
5. Principales aplicaciones.

Common topics to the subjects:

1. Applications of Mathematics.
2. Data nature and structure.
3. Algorithms.
4. Numerical/computational implementation.

Specific topics to each subject:

Modeling and Nonlinear Analysis:

1. Modeling: generalities. Dimensional analysis.
2. Deterministic models: differential and difference equations.
3. Perturbative methods: regular and singular.
4. Stability and bifurcation.
5. Deterministic chaos: properties and characterization.
6. Stochastic models in discrete time: Markov chains, renewal, and ramification processes.
7. Random motion. Poisson process.

Stochastic Equations for Finance and Biology:

1. Brownian motion and white noise.
2. Stochastic integrals.

3. Stochastic differential equations.
4. Numerical methods for stochastic equations. Langevin simulations.
5. Applications: Merton's portfolio problem, Black-Scholes model, biochemical kinetics, biological evolution.

Complex Biological and Socio-economic Systems:

1. Introduction to complex system: Percolation models.
2. Emergent properties: Critical phenomena and relation to Ising model.
3. Complex networks: Properties and characterization. Dynamical processes.
4. Biological systems: Epidemiological and evolution processes.
5. Information spreading in socio-economic systems.

Cryptographic Protocols and Techniques:

1. Cryptographic protocols. Ultralight protocols.
2. Classic and modern cryptographic primitives.
3. Cryptoanalysis of cryptographic protocols.
4. Cryptoanalysis of cryptographic primitives.
5. Implementation of cryptographic algorithms and protocols.

Big and Chained Data:

1. Database applications for Big Data.
2. Distributed architectures for data integration and analysis.
3. Chained database technologies. Blockchain.
4. Blockchain functioning and types.
5. Main applications.

Lenguas en que se impartirá la materia

Inglés y español.

Observaciones

MATERIA 4			
Denominación: Trabajo Fin de Máster / Master's Thesis			
Número de créditos ECTS	Carácter de la materia (obligatoria / optativa / mixto / trabajo fin de máster/etc.)		
12	Obligatoria		
Duración y ubicación temporal dentro del plan de estudios			
Esta materia está compuesta por una asignatura obligatoria que se imparte en el segundo cuatrimestre.			
Competencias que el estudiante adquiere con esta materia			
<i>CB6, CB7, CB9, CB10</i> <i>CG1, CG2, CG4, CG5, CG6</i> <i>CE1, CE2, CE3, CE4, CE5, CE6, CE7, CE8, CE9, CE10, CE11, CE12, CE14, CE15, CE16</i>			
Resultados de aprendizaje que adquiere el estudiante			
<p>Adquisición de conocimientos y habilidades como: 1) autonomía en el desarrollo de un proyecto de trabajo o investigación; 2) capacidad de revisión de la literatura en un tema específico; 3) dominio de la redacción científica; 4) uso e implementación de los conceptos, técnicas y herramientas matemáticas y/o computacionales vistas en el Máster. Adquisición de conocimientos al nivel del estado del arte de un tema específico y posible realización de contribuciones nuevas o innovadoras. 5) Fundamentos del método científico.</p> <p>Knowledge and skills acquisition of: 1) autonomy in the development of a work or research project; 2) ability to review specialized literature on specific topics; 3) mastering of scientific writing; 4) use and implementation of the mathematical and/or computational concepts, techniques, and tools studied in the Master's degree. Acquisition of knowledge at the level of the state of art of a specific topic and possible input of innovative or new contributions. 5) Foundations of the scientific method.</p>			
Actividades formativas de la materia indicando su contenido en horas y % de presencialidad			
Código actividad	Nº Horas totales	Nº Horas Presenciales (2)	% Presencialidad Estudiante (3)

AF1	15	15	100
AF3	15	15	100
AF4	15	0	0
AF5	250	0	0
AF7	5	5	100
TOTAL MATERIA	300	35	12

Metodologías docentes que se utilizarán en esta materia

MD2, MD3, MD5

Sistemas de evaluación y calificación. Indicar su ponderación máxima y mínima

Sistemas de evaluación	Ponderación mínima (%)	Ponderación Máxima (%)
SE1	5	20
SE2	5	100
SE3	5	60
SE4	5	40
SE5	100	100

Listado de Asignaturas de la materia

Asignatura	Créditos	Cuat.	Carácter	Idioma
Trabajo Fin de Máster / Master's Thesis	12	2	Obligatoria	Inglés

Descripción de contenidos

Se trata de una materia encaminada a la realización del Trabajo Fin de Máster. Se compone de una asignatura.

Trabajo Fin de Máster

1. Aplicación de las técnicas y conocimientos adquiridos a lo largo del máster a un problema o reto de investigación concreto.
2. Fundamentos del método científico. Formulación de hipótesis y análisis en profundidad de métodos específicos novedosos.
3. Diseminación de resultados de investigación.
4. Presentación de resultados y conclusiones.

This is a subject whose objective is to do the Master's Thesis. It consists of one subject.

Master's Thesis

1. Implementation of the techniques and knowledge acquired during the master to a specific research problem or challenge.
2. Foundations of the scientific method. Hypothesis formulation and detailed analysis of novel methods.
3. Diffusion of research results.
4. Presentation of results and conclusions.

Lenguas en que se impartirá la materia

Inglés.

Observaciones

El Trabajo Fin de Máster será defendido en sesión pública ante un Tribunal.