

# Grado en Matemáticas por la UPM (GeM-UPM)

## Memoria de verificación

# Resumen ejecutivo

En este documento se presenta una propuesta de Grado en Matemáticas por la UPM, un título de la rama de conocimiento Ciencias, enfocado principalmente a la modelización y simulación de problemas relacionados con la ciencia, la ingeniería y la arquitectura. La sociedad demanda profesionales capaces de aplicar técnicas creativas e innovadoras a problemas variados y la UPM concentra un amplio grupo de profesores con dilatada experiencia en la aplicación de las matemáticas a la ciencia y la tecnología. Es el momento de aprovechar el carácter multidisciplinar de las Escuelas Técnicas para formar a los matemáticos del futuro.

Con vistas a iniciar la docencia del Grado a partir del curso 2021-2022, desde la Conferencia de Directores de Departamentos de Matemática Aplicada de la UPM, integrada por los directores de los cinco departamentos de matemáticas existentes en esta universidad, se han impulsado todos los mecanismos necesarios para elaborar una Memoria de Verificación del Grado para su aprobación por la Fundación para el Conocimiento Madri+d. A continuación se expone un resumen de los puntos más relevantes de la memoria.

### Oportunidad

La situación de las matemáticas en España ha evolucionado notablemente en pocos años. Si hace algunos años la salida principal de los egresados en matemáticas era la investigación y la docencia, en los últimos tiempos la demanda de titulados en matemáticas ha aumentado considerablemente en el sector privado, industrial y empresarial. El matemático ha pasado de ser sinónimo de profesor de matemáticas a ser reconocido como un profesional de las matemáticas apreciado y demandado en otros sectores por la comprensión y aplicación de modelos matemáticos a las más diversas situaciones del mundo empresarial, industrial, urbanístico, sanitario y de las finanzas.

El informe “Impacto socioeconómico de la investigación y la tecnología matemática en España”, publicado en 2019 por la Red Estratégica en Matemáticas, estima que las actividades con intensidad matemática generaron un millón de ocupados en 2016 (el 6 % del empleo total de la economía española). El mismo informe estima el impacto de las actividades con intensidad matemática en el 10,1 % del Valor Agregado Bruto (VAB) total en 2016. Estas cantidades tienen aún muchas posibilidades de crecer, dado que son menores que en otros países europeos donde se ha realizado un estudio similar, ya que en términos de empleo el impacto directo se sitúa entre el 10 y el 11 % del total, mientras que en VAB se encuentra entre el 13 y el 16 % del total.

Esta situación se ha trasladado a la demanda de plazas en los estudios universitarios de matemáticas, en especial en las universidades madrileñas, situándose algunos estudios en matemáticas entre los más demandados por la sociedad. Las notas de corte del último

curso de los títulos de matemáticas y afines que se imparten en las universidades madrileñas superan todas el valor de 11, y varias de ellas incluso el valor de 13.

Por ello consideramos que, a pesar de la aparente abundancia de titulaciones en matemáticas, sigue habiendo demanda en la sociedad que justifica plenamente aumentar la oferta. Sobre todo, porque el Grado en Matemáticas de la UPM no competirá necesariamente con los títulos de la misma denominación, ya que, por el propio carácter de la UPM, su acento en la modelización, la simulación y el análisis de datos le proporcionarán un marchamo propio. Y tampoco entraría en conflicto con otros grados de la misma Universidad Politécnica de Madrid, pues ninguno de ellos es un grado exclusivamente de matemáticas. Muy al contrario, la implantación en la UPM de un grado en matemáticas como el que se pretende, vendría a aparecer en un contexto en el que la colaboración con los grados ya existentes de informática y matemáticas y los de datos, estos últimos de reciente creación, puede producir sinergias muy beneficiosas para mejorar la oferta docente de la UPM en este ámbito.

## Viabilidad

Esta propuesta surge de, y se apoya en, los cinco departamentos de matemática aplicada que resultaron tras la reestructuración departamental de la UPM en 2014:

- Departamento de Matemática Aplicada, con secciones departamentales en cuatro escuelas de la UPM; a saber: ETSIAAB, ETSAM, ETSEM; ETSIMFMN.
- Departamento de Matemática Aplicada a la Ingeniería Aeroespacial, con una única sede en la ETSIAE.
- Departamento de Matemática Aplicada a la Ingeniería Industrial, con secciones departamentales en dos escuelas de la UPM; a saber: ETSII, ETSIDI.
- Departamento de Matemática Aplicada a las Tecnologías de la Información y la Comunicación, con secciones departamentales en cuatro escuelas de la UPM; a saber: ETSIT, ETSIST, ESTSISI, ETSI Inf.
- Departamento de Matemática e Informática Aplicadas a las Ingenierías Civil y Naval, con secciones en dos escuelas de la UPM; a saber: ETSICCP, ETSIN.

Estos cinco departamentos, con secciones departamentales en 13 Escuelas de la UPM, reúnen a más de 220 profesores en las áreas de Matemática Aplicada, Estadística e Investigación Operativa e Inteligencia Artificial y Ciencias de la Computación. La UPM cuenta, pues, con la mayor cantidad de profesores adscritos a departamentos de matemáticas de las universidades madrileñas. Y esto sin contar con el profesorado adscrito a otros departamentos UPM con formación matemática de excelencia y una gran experiencia en las matemáticas aplicadas a problemas tecnológicos muy diversos. En cualquier caso, es importante destacar la implicación de esta comunidad de profesoras y profesores en el trabajo llevado a cabo hasta el momento para elaborar esta propuesta. En el Anexo I a este documento se describe el proceso llevado a cabo y las personas implicadas en él.

En esta propuesta el título se adscribe a la Escuela Politécnica de Enseñanza Superior, mientras que el centro responsable de acoger la docencia será la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas (ETSIAAB). Esta escuela cuenta con medios materiales suficientes y adecuados para el desarrollo de la docencia de

un grado de estas características y para albergar a la comunidad de nuevos estudiantes de este título, con apoyo suficiente de Personal de Administración y Servicios.

La oferta de plazas de nuevo ingreso cada año se propone en 50 alumnos. La cifra resulta de un compromiso entre la demanda esperada y los recursos disponibles, humanos y materiales.

## **Especificidad**

El Grado en Matemáticas por la UPM constituye una propuesta diferenciada y con identidad propia y específica, tanto en el contexto de las titulaciones ofrecidas por la Universidad Politécnica de Madrid, como en el de los grados de contenido matemático ofertados por las universidades públicas de la Comunidad de Madrid.

Con respecto al primer aspecto, la UPM ya imparte un grado en Matemáticas e Informática, cuya idea es “combinar asignaturas de Matemáticas e Informática, concentrándose en áreas donde ambas son más relevantes una con la otra y enfatizando las interrelaciones entre ambas disciplinas”. Este grado contiene en torno a 100 créditos ECTS de contenidos matemáticos, si se escogen todas las asignaturas optativas con esa orientación, por lo que no cubre los 144 créditos de contenidos mínimos comunes aconsejados por el Libro Blanco del Título de Grado en Matemáticas (ANECA, 2005). La distribución de esos contenidos entre los distintos campos de las matemáticas está además motivada por su relación y aplicación con la informática. Un fenómeno similar se da con dos titulaciones recientemente propuestas por la UPM, el grado en Ciencia de Datos e Inteligencia Artificial y el grado en Ingeniería de Datos. En ambos casos, los contenidos matemáticos son considerables (en torno a 60 créditos), pero de nuevo se eligen en función de dar servicio a las herramientas de elaboración de modelos en inteligencia artificial, o del análisis de la señal, entre otros. El nuevo Grado en Matemáticas que se propone cumple las directrices propuestas por el Libro Blanco, tanto en extensión como en distribución de los contenidos, de forma que constituye una oferta de contenidos matemáticos generales y, por lo tanto, flexibles en su campo de aplicación que dará lugar a graduadas y graduados con formación adecuada para acceder a cualquier máster o estudio de postgrado en el área que se oferte en el mundo.

Esta generalidad no impide que el diseño del grado propuesto también desarrolle y aproveche la especificidad de la Universidad Politécnica de Madrid con respecto al resto de Universidades Públicas de la Comunidad de Madrid. En efecto, la UPM tiene más de doscientos profesores en las distintas áreas de conocimiento de las Matemáticas. Además, por la propia naturaleza de la Universidad, muchos de esos profesores realizan labores de investigación sobre modelización y simulación de problemas científicos y procesos tecnológicos en ámbitos muy diversos. Es por ello que el Grado en Matemáticas de la UPM hace especial hincapié en la modelización y simulación, enfocada a campos de aplicación muy variados, lo cual supone un hecho diferencial con respecto a los grados de contenido matemático de la Comunidad de Madrid. Incluso el Grado en Ingeniería Matemática de la Universidad Complutense, que es, de los existentes, el más enfocado a la modelización, tiene esos contenidos focalizados en tres ámbitos de aplicación muy particulares (economía, geodesia, y modelización de problemas usando ecuaciones en derivadas parciales). Estimamos que la propuesta de Grado en Matemáticas por la UPM combina esa apuesta

por la modelización y simulación, apoyada en su particularidad y en la fortaleza de su profesorado, con una formación matemática sólida, amplia y flexible.

## Contenidos

El Grado en Matemáticas busca la formación de profesionales con competencias tanto en la comprensión y desarrollo de nuevos conceptos y teorías matemáticas como en su aplicación a problemas de la ciencia y la tecnología mediante la modelización y la simulación.

Consta de 240 créditos impartidos en cuatro años, ocho semestres. Es un grado generalista, sin menciones. Su estructura está diseñada en módulos que, a su vez, se dividen en materias (y en el caso de las materias básicas, en asignaturas, como exige la normativa), cuya distribución en créditos ECTS es como sigue:

- Módulo de materias básicas: 60 créditos.
- Módulo de materias obligatorias: 126 créditos.
- Módulo de materias optativas: 42 créditos.
- TFG: 12 créditos

Las materias básicas y obligatorias se agrupan en los siguientes epígrafes:

- Álgebra lineal y geometría: 28,5 créditos
- Análisis real y complejo: 34,5 créditos
- Ecuaciones diferenciales: 18 créditos
- Topología y geometría diferencial: 12 créditos
- Estructuras algebraicas: 12 créditos
- Probabilidad y estadística: 18 créditos
- Métodos numéricos: 21 créditos
- Matemática discreta e investigación operativa: 12 créditos
- Modelización y simulación: 18 créditos
- Física: 6 créditos
- Inglés: 6 créditos

En la precedente enumeración de materias se observa que se cumplen ampliamente las recomendaciones del Libro Blanco del Título de Grado en Matemáticas, lo que constituye el núcleo de un grado en matemáticas. Por otro lado, algo que distingue este grado es el peso importante de la materia Modelización y simulación. Esta materia, con 18 créditos repartidos en los semestres 2, 4 y 6, será una de sus señas de identidad. Está concebida para la aplicación de las herramientas matemáticas aprendidas en cada curso, mediante el desarrollo de modelos y simulaciones, a una variedad de problemas reales, sin incluir nuevos contenidos matemáticos. Las materias Probabilidad y estadística y Métodos numéricos también tienen un peso mayor de lo habitual en otros grados de matemáticas generalistas

en Madrid. Sin embargo, en último extremo, la verdadera distinción de este grado se hallará en el enfoque de todas y cada una de las asignaturas, llevado a clase por la experiencia de los profesores de la UPM y su interacción con el mundo de la tecnología.

Las asignaturas optativas se agruparán en las siguientes cinco materias (además de la posibilidad de prácticas académicas externas y reconocimiento de créditos):

- Ingeniería matemática
- Matemática de la complejidad y análisis de datos
- Álgebra, geometría y topología y sus aplicaciones
- Enseñanza de las matemáticas
- Matemática fundamental avanzada

Este abanico de materias optativas es un reflejo de la variedad y capacidad del colectivo de profesores de los departamentos de matemática aplicada de la Universidad Politécnica de Madrid, que conjugan tanto las líneas de investigación en matemática pura como las colaboraciones con ingenieros y arquitectos al abordar todo tipo de problemas aplicados.

Finalmente mencionar que, aunque como ha quedado dicho, el Grado en Matemáticas por la UPM que se propone ha sido diseñado por materias, el trabajo de la comisiones Arco-Iris ha ido más allá, diseñando las asignaturas concretas del módulo de materias obligatorias que, aunque no se recoge en la memoria de verificación del grado, se considera conveniente incluirlo aquí en el Anexo II a este documento.

# Anexo I

## Procedimientos y participantes

En la elaboración de la actual propuesta del título Grado en Matemáticas por la UPM ha sido fundamental el apoyo recibido por parte del Vicerrectorado de Estrategia Académica e Internacionalización y de la EPES de la UPM en las personas del Vicerrector, José Miguel Atienza Riera, de su Adjunto para la Gestión Académica, José Manuel Ruiz Román, y del Jefe del Servicio de Ordenación Académica, José F. Rodríguez Jiménez. Asimismo, ha resultado imprescindible la receptividad por parte de la ETSIAAB, especialmente en la persona de su Director, Luis Ricote Lázaro, que en todo momento ha sido proclive a propiciar que la docencia del grado se desarrolle en esa Escuela.

De resultados de este buen entendimiento Vicerrectorado-ETSIAAB-Conferencia, se creó una comisión de seguimiento del grado (que dio en llamarse “Comisión de Ordenación Académica” del Grado) integrada por el Vicerrector, su Adjunto y el Jefe del Servicio de Ordenación Académica, el Director de la ETSIAAB, el Jefe de Estudios de la EPES, Félix J. Pascual Miguel, los cinco directores de departamento de la Conferencia y el delegado de alumnos de la UPM, Jesús Sesé Enríquez.

En lo que se refiere al profesorado, su participación en el proceso de definición y desarrollo de lo que es ahora el GeM-UPM y su memoria de verificación, ha sido muy intensa y se ha concretado en las siguientes comisiones y grupos de trabajo.

- *Conferencia de Directores de Departamento de Matemática Aplicada de la UPM:* formada por los directores y secretarios o subdirectores de los cinco departamentos ya citados. Actualmente la forman: Alejandro Zarzo Altarejos (Presidente de turno), Carlos González Guillén (Secretario de turno), Fernando San José Martínez, Álvaro Pérez Raposo, Mariola Gómez López, Marta Cordero Gracia, Sagrario Lantarón Sánchez, Leonardo Fernández Jambrina, Francisco Ballesteros Olmo, recientemente sustituido por la nueva Directora (en funciones) de DMATIC, Carmen Sánchez Ávila.
- *Equipo de trabajo:* encargado de la primera propuesta de las materias y asignaturas del GeM-UPM y, en general, de todo el proceso de redacción de los documentos asociados a la memoria, primero en borrador y luego incorporando las sugerencias del resto de la comunidad involucrada en el proyecto. Está integrado por: Rodolfo Bermejo Bermejo, Marta Cordero Gracia, Leonardo Fernández Jambrina, Álvaro Pérez Raposo, Luis Miguel Pozo Coronado y Alejandro Zarzo Altarejos.
- *Grupo de trabajo ampliado:* con uno o dos representantes de cada sección departamental y del profesorado de matemáticas de la ETSIME, cuya labor es, individualmente, recoger las opiniones, sugerencias y propuestas de los profesores de cada sección departamental y, conjuntamente, consensuar dichas propuestas y servir de apoyo de las decisiones y propuestas que emanan de la Conferencia. Lo forman 22 profesoras y profesores que enumeramos a continuación: María Luisa Rapún Banzo, Marta Cordero Gracia, Carlos Manuel Castro Barbero, Leonardo Fernández Jambrina, Bernardo de la Calle Ysern, Rodolfo Bermejo Bermejo, Pedro

González Manchón, Daniel Jeremy Fox Hornig, Miguel Ángel Hernández Medina, Carmen Escribano Iglesias, Jonatán Sánchez Hernández, Rafael José Hernández Heredero, María Pilar Velasco Cebrián, Jesús García López de la Calle, Luis Miguel Pozo Coronado, Álvaro Pérez Raposo, José Ángel Capitán Gómez, Ana María Luzón Cordero, Eugenia Rosado María, Lourdes Tello del Castillo, René Dáger Salomón, Ultano Kindelán.

- *Comisiones arco-iris para el módulo de materias básicas:* una comisión para cada una de las asignaturas del módulo básico, para concretar sus contenidos y coordinación vertical y horizontal con asignaturas de materias afines.
  - Comisión azul (cálculos): Dolores Barrio Rodanía, Bernardo de la Calle Ysern, Miguel Ángel Hernández Medina, Lourdes Tello del Castillo, Juan Francisco Padiá Molina.
  - Comisión roja (álgebra lineal y geometría): Ana María Luzón Cordero, Eugenia Rosado María, Jonatán Sánchez Hernández, María Luisa Rapún Banzo, Daniel J. Fox Hornig, M<sup>a</sup> Jesús Vázquez Gallo .
  - Comisión verde (programación y cálculo numérico): Marta Cordero Gracia, René Dáger Salomón, María Luisa Rapún Banzo.
  - Comisión negra (fundamentos de las matemáticas): Carmen Escribano Iglesias, Jesús García López de la Calle, Francisco Gómez Martín, Ana María Luzón Cordero, Álvaro Pérez Raposo.
  - Comisión naranja (modelización y simulación): José Ángel Capitán, María Barbero Liñán, Pedro Galán del Sastre, Carlos García-Gutiérrez, Francisco Navarro, Laura Saavedra, Juan Carlos Sanz Nuño.
- *Comisiones arco-iris para el módulo de materias obligatorias:* una comisión para cada una de las materias del módulo obligatorio, para concretar sus contenidos y coordinación vertical y horizontal con asignaturas de materias afines y con el módulo de materias básicas.
  - Comisión roja (Álgebra lineal y geometría) Jonatan Sánchez, Luis Pozo, María Luisa Rapún, Eugenia Rosado, M<sup>a</sup> Jesús Vázquez.
  - Comisión Azul (Análisis real y complejo): Bernardo de la Calle, Miguel Ángel Hernández, Víctor Muñoz, Dolores Barrios, Fernando Blasco, Fabricio Macià, Alicia Cantón.
  - Comisión Amarilla (Ecuaciones diferenciales): Lourdes Tello, René Dáger, Rodolfo Bermejo, Juan Francisco, Manuel Mendoza, Fabricio Macià.
  - Comisión Marrón (Topología y geometría diferencial): Eugenia Rosado, Pedro González Manchón, Adela Latorre.
  - Comisión Verde oscuro (Estructuras algebraicas): Daniel Jeremy Fox, Juan José Morales, Lorenzo Javier Martín, Sonia L. Rueda, Alberto Navarro, M<sup>a</sup> Jesús Vázquez.

- Comisión Lila (Probabilidad y estadística): Marta Cordero, Santiago Higuera, Mariola, Vicente Martín, Luisa Martín, José Manuel Mira, M.<sup>a</sup> Dolores Redondas, Luis Sanz, Antonio Tabernero.
- Comisión Verde claro (Métodos numéricos): María Luisa Rapún, René Dáger, Marta Cordero, Santiago Higuera de Frutos, Mario Zamecnik.
- Comisión Negra (Matemática discreta e investigación operativa): Ana Luzón, Carmen Escribano, Paco Gómez, Alberto Navarro, Álvaro Pérez Raposo.
- Comisión Naranja (Modelización y simulación incluye Física): José Ángel Capitán, Alejandro Zarzo, Carlos Castro, Rafael Hernández, María Pilar Velasco, Santiago Higuera, Cristina Sardón, Carlos García-Gutiérrez, Francisco Navarro.
- *Comisiones para el módulo de materias optativas*: una comisión para cada una de las materias del módulo optativo, para concretar sus contenidos y coordinación vertical y horizontal con asignaturas de materias afines y con el módulo de materias básicas.
  - Ingeniería matemática: Pablo Angulo Ardoy, Juan Antonio Barceló Valcarcel, Dolores Barrios Rolanía, Rodolfo Bermejo Bermejo, Carlos Manuel Castro, Barbero, Pedro Galán del Sastre, Juan Carlos García Ardila, Arturo Hidalgo López, Fabricio Macià Lang, Cristóbal Meroño Moreno, Juan Francisco Padiál Molina, Lourdes Tello del Castillo, M.<sup>a</sup> de la Cruz Vilela Bendaña.
  - Matemáticas de la complejidad y análisis de datos: Javier Caniego Monreal, José Ángel Capitán Gómez, Carlos Manuel Castro Barbero, Marta Cordero Gracia, Jesús García López de Lacalle, Carlos García-Gutiérrez Báez, Mariola Gómez López, Carlos Eduardo González Guillén, Salvador Jiménez Burillo, Bartolomé Luque Serrano, Miguel Ángel Martín Martín, José Olarrea Busto, Vicente Martín Ayuso, María Luisa Martín Horcajo, José Manuel Mira McWilliams, Luis Miguel Pozo Coronado, Antonio Tabernero Galán, Ana María Tarquis Alfonso, Luis Sanz Lorenzo, M.<sup>a</sup> Dolores Redondas Marrero, Miguel Reyes Castro, Fernando San José Martínez, Juan Carlos Sanz Nuño, María Pilar Velasco Cebrián, Pedro José Zufiría Zatarain.
  - Álgebra, geometría y topología y sus aplicaciones: José Ángel Capitán, Leonardo Fernández Jambrina, Daniel Jeremy Fox Hornig, Rafael Hernández Heredero, Manuel Mendoza de Haro, Alberto Navarro Garmendia, Juan José Morales, Álvaro Pérez Raposo, Sonia Rueda, María Jesús Vázquez Gallo.
  - Enseñanza de las matemáticas: María Barbero Liñán, Fernando Blasco Contreras, Alicia Cantón Pire, Leonardo Fernández Jambrina, Francisco Gómez Martín, Antonia González Gómez, Sagrario Lantarón Sánchez, María Dolores López González, Susana Merchán Rubira, Juan Francisco Padiál Molina, Ester Patiño Rodríguez, Luis Miguel Pozo Coronado, María Eugenia Rosado María, María Jesús Vázquez Gallo.
  - Matemática fundamental avanzada: Alicia Cantón Pire, Daniel Jeremy Fox Hornig, Pedro González Manchón, Rafael José Hernández Heredero, Jerónimo López-Salazar Codes, Alberto Navarro Garmendia, Álvaro Pérez Raposo, Luis Felipe

Rivero Garvia, Sonia Rueda Pérez, Carmen Sánchez Ávila, María Jesús Vázquez Gallo, Juan José Vinagre Díaz.

Cabe finalmente mencionar el trabajo realizado por el Equipo de Lectores, formado por Juan Francisco Padial, Dolores Barrios, María Victoria Cuevas, Bernardo de la Calle, Pedro G. Manchón, Daniel Fox, Miguel Ángel Hernández y Pedro Zufiría. Como el nombre del equipo indica, su función ha sido la hacer una lectura de la memoria de verificación aportando sugerencias y mejoras de la misma.

## Anexo II

### Asignaturas de los módulos de materias básicas y obligatorias

Trabajo adicional de las comisiones arco-iris que no figura en la memoria de verificación del GeM-UPM porque se ha estructurado por materias. (\*)

Semestre 1	<b>Álgebra lineal</b> 7.5	<b>Programación</b> 7.5	<b>Cálculo en una variable</b> 7.5	<b>Fundamentos de matemáticas</b> 7.5	
Semestre 2	<b>Geometría I</b> 7.5	<b>Cálculo numérico I</b> 7.5	<b>Cálculo en varias variables</b> 9	<b>Modelización y simulación I</b> 6	
Semestre 3	<b>Matemática discreta</b> 6	<b>EDO I</b> 6	<b>Análisis vectorial</b> 6	<b>Topología</b> 6	<b>Física</b> 6
Semestre 4	<b>Estructuras algebraicas</b> 6	<b>Cálculo numérico II</b> 6	<b>Análisis real</b> 6	<b>Probabilidad</b> 6	<b>Modelización y simulación II</b> 6
Semestre 5	<b>Geometría II</b> 6	<b>EDO II</b> 6	<b>Análisis complejo</b> 6	<b>Estadística</b> 6	<b>Curvas y superficies</b> 6
Semestre 6	<b>Ecuaciones algebraicas</b> 6	<b>EDP</b> 6	<b>Investigación operativa</b> 6	<b>Estadística multivariante</b> 6	<b>Modelización y simulación III</b> 6
Semestre 7	<b>Optativas</b> 24				<b>Inglés</b> 6
Semestre 8	<b>Optativas</b> 18		<b>Trabajo Fin de Grado</b> 12		

(\*) La movilidad, las prácticas académicas externas y reconocimiento de créditos por actividades universitarias acreditables en titulaciones de grado (de 0 a 6 créditos) se podrá aplicar en la Optatividad.