

# Libro Blanco de las Matemáticas



FUNDACIÓN  
RAMÓN ARECES



**Real Sociedad**  
Matemática Española

# **Libro Blanco de las Matemáticas**

**David Martín de Diego**  
(Coordinador General)  
**Tomás Chacón Rebollo**  
**Guillermo Curbera Costello**  
**Francisco Marcellán Español**  
**Mercedes Siles Molina**  
(Coordinadores)

# Libro Blanco de las Matemáticas



FUNDACIÓN  
RAMÓN ARECES

Reservados todos los derechos.

Ni la totalidad ni parte de los libros pueden reproducirse o transmitirse por ningún procedimiento electrónico o mecánico, incluyendo fotocopia, grabación magnética o cualquier almacenamiento de información y sistema de recuperación, sin permiso escrito de Editorial Centro de Estudios Ramón Areces, S.A.

El contenido expuesto en este libro es responsabilidad exclusiva de sus autores.

© EDITORIAL CENTRO DE ESTUDIOS RAMÓN ARECES, S.A.

Tomás Bretón, 21 – 28045 Madrid

Teléfono: 915 398 659

Fax: 914 681 952

Correo: [cerasa@cerasa.es](mailto:cerasa@cerasa.es)

Web: [www.cerasa.es](http://www.cerasa.es)

© FUNDACIÓN RAMÓN ARECES

Vitruvio, 5 – 28006 MADRID

[www.fundacionareces.es](http://www.fundacionareces.es)

Diseño de cubierta: KEN / [www.ken.es](http://www.ken.es)

Depósito legal: M-24906-2020

Impreso por:

ANEBRI, S.A.

Antonio González Porras, 35-37

28019 MADRID

Impreso en España / Printed in Spain

# ÍNDICE

PRÓLOGO .....	XI
INTRODUCCIÓN .....	XIII
LA EDUCACIÓN MATEMÁTICA EN LAS ENSEÑANZAS OBLIGATORIAS Y EL BACHILLERATO (Mireia López Beltrán, Lluís Albarracín Gordo, Irene Ferrando Palomares, Jesús Montejo-Gámez, Pedro Ramos Alonso, Ana Serradó Bayés, Elena Thibaut Tadeo, Raquel Mallavibarrena) .....	1
1. El proceso de aprendizaje .....	2
2. Estrategias de enseñanza-aprendizaje.....	25
3. Enseñanza .....	48
4. Conclusiones .....	60
5. Referencias.....	63
6. Anexo: Planes de formación de Comunidades Autónomas.....	83
LOS ESTUDIOS DE MATEMÁTICAS EN EL ÁMBITO UNIVERSITARIO (Luis J. Rodríguez-Muñiz, Rafael Crespo, Irene Díaz, Mario Fioravanti, Lluís Miquel García-Raffi, María Isabel González-Vasco, Laureano González Vega, Matilde Lafuente, Jesús Montejo-Gámez, Francisco A. Ortega, Raquel Mallavibarrena) .....	95
1. Los estudios de matemáticas en el ámbito universitario .....	95
2. Enseñanza de las matemáticas más allá de las facultades de matemáticas..	117
3. La formación de máster en matemáticas.....	125
4. El Máster de Formación del Profesorado de ESO y Bachillerato en Matemáticas.....	132
5. Las pruebas de acceso a la universidad .....	142
6. La educación matemática en la enseñanza universitaria no reglada.....	150

7. Conclusiones.....	152
8. Referencias.....	156
<b>SALIDAS PROFESIONALES DE LAS MATEMÁTICAS (M. Victoria Otero Espinar, Margarita Arias López, María José Ginzo Villamayor, Adolfo Quirós Gracián, F. Javier Soria de Diego, Rodrigo Trujillo González) .....</b>	
1. Introducción .....	163
2. Descripción de la muestra atendiendo a las preguntas del cuestionario....	171
3. Análisis de la encuesta .....	184
<b>INVESTIGACIÓN MATEMÁTICA EN ESPAÑA (María Jesús Carro Rossell, José Luis Ferrín González, Alfonso Gordaliza Ramos, Carmen Ortiz-Caraballo, Pablo Pedregal Tercero, Alfredo Peris Mangillot, Luis Vega González) .....</b>	
1. Introducción .....	233
2. Etapa predoctoral .....	235
3. Etapa posdoctoral .....	265
4. Proyectos de investigación .....	285
5. Instituciones y centros de investigación .....	289
6. Análisis de las publicaciones .....	313
7. Análisis de la investigación y transferencia de tecnología matemática en España .....	320
8. Referencias.....	335
<b>EL IMPACTO SOCIOECONÓMICO DE LA MATEMÁTICA EN ESPAÑA (Tomás Chacón Rebollo, Guillermo Curbera Costello) .....</b>	
1. Introducción .....	337
2. Matemáticas y economía.....	339
3. El peso de la investigación matemática y de la transferencia de tecnología matemática en la economía española .....	344
4. Las matemáticas como vector estratégico de crecimiento y progreso económico .....	362
5. Conclusiones y recomendaciones de política pública .....	373

IGUALDAD DE GÉNERO EN EL ÁMBITO DE LAS MATEMÁTICAS (Marta Macho Stadler, Edith Padrón Fernández, Laura Calaza Díaz, Marta Casanellas Rius, Mercedes Conde Amboage, Elisa Lorenzo García, María Elena Vázquez Abal) .....	375
1. Introducción .....	375
2. Vocaciones matemáticas desde una perspectiva de género.....	379
3. Olimpiadas matemáticas y desigualdad de género .....	388
4. Brecha de género en la carrera de investigadora.....	394
5. Tratamiento en medios de comunicación y redes de temas relacionados con la igualdad en la ciencia y en particular en las matemáticas. La importancia de que las mujeres se incorporen a la divulgación matemática.....	407
6. Mujeres, Matemáticas y Cooperación .....	415
7. Referencias.....	419
DIVULGACIÓN DE LAS MATEMÁTICAS (Raúl Ibáñez Torres, Pedro Alegría Ezquerro, Fernando Blasco Contreras, Antonio Pérez Sanz, Ágata Timón García-Longoria).....	421
1. Divulgación matemática en España desde el 2000 hasta el 2019.....	421
2. Futuro .....	473
INTERNACIONALIZACIÓN DE LAS MATEMÁTICAS (Manuel de León Rodríguez) .....	483
1. Introducción .....	483
2. La educación e investigación en educación matemática.....	484
3. La investigación .....	488
4. Los grandes eventos internacionales .....	496
5. Las Olimpiadas Matemáticas y otros eventos similares.....	498
6. Impacto de la investigación española en matemáticas .....	499
7. Representación española en cooperación.....	508
8. Comités editoriales de revistas .....	510
9. Representaciones internacionales de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales .....	514
10. Conclusiones y recomendaciones.....	515

PREMIOS Y RECONOCIMIENTOS (José Bonet Solves, Domingo García Rodríguez, Francisco Marcellán Español, Pedro José Paúl Escolano).....	519
1. Introducción .....	519
2. ¿Por qué premios y reconocimientos científicos? .....	519
3. Panorama internacional.....	520
4. Panorama Español.....	522
5. Conclusiones y sugerencias .....	523
6. Anexo 1. Premios .....	524
6.1. Premios de sociedades matemáticas nacionales.....	524
6.2. Premios de gobiernos autonómicos.....	528
6.3. Premios nacionales.....	531
6.4. Premios de fundaciones y entidades privadas españolas.....	531
6.5. Premios y reconocimientos internacionales otorgados a matemáticos/as españoles/as.....	535
7. Anexo 2. Encuesta para el bloque de premios en el Libro Blanco de la RSME.....	536
8. Referencias.....	540
CONCLUSIONES .....	543
1. Educación matemática en primaria y secundaria .....	544
2. Estudios de matemáticas en el marco universitario .....	545
3. Investigación en matemáticas .....	547
4. Políticas de género y matemáticas.....	549
5. Salidas profesionales .....	550
6. Internacionalización .....	550
PROPUESTAS DE ACCIÓN .....	553
AGRADECIMIENTOS.....	569
GLOSARIO DE SIGLAS Y ABREVIATURAS .....	571

## PRÓLOGO

Dirigido y coordinado por la Real Sociedad Matemática Española con el apoyo de la Fundación Ramón Areces, el *Libro Blanco de las Matemáticas* es fruto del esfuerzo colectivo de un gran número de miembros de la comunidad matemática española durante más de dos años.

El trabajo muestra, con datos contrastados y análisis basados en diagnósticos de la situación presente, una fotografía precisa de la matemática española desde muy diversos puntos de vista: educación, investigación, salidas profesionales, impacto económico de las matemáticas, divulgación, entre otros, así como las transformaciones que se han producido en su seno en los últimos años. Los variados aspectos tratados en el Libro Blanco son piezas esenciales del polifacético mosaico que constituyen las matemáticas en España.

La Fundación Ramón Areces y la Real Sociedad Matemática Española están convencidas de que la ciencia en general y, las matemáticas en particular, constituyen un elemento indispensable para contribuir a la configuración de un país moderno y dinámico, a la altura de los retos que nos aguardan en el futuro.

Esperamos que los análisis, conclusiones y propuestas de acción recogidos en este trabajo sirvan de columna vertebral para el inicio de un debate necesario dentro de la sociedad sobre medidas y acciones concretas para mejorar la situación de las matemáticas en España.

Agradecemos el trabajo desinteresado de las personas que han participado en la elaboración de este Libro Blanco. Todas ellas constituyen una comunidad activa, comprometida, dinámica y capaz de realizar tareas colectivas de tanto calado como esta obra que presentamos y que deja constancia de que siendo una ciencia antigua por definición, las Matemáticas se han convertido en una ciencia de futuro.

Francisco Marcellán Español  
Presidente de la Real Sociedad Matemática Española

Raimundo Pérez-Hernández  
Director de la Fundación Ramón Areces

## INTRODUCCIÓN

La Real Sociedad Matemática Española inició hace más de dos años un estimulante proyecto, el Libro Blanco de las Matemáticas en España, con el objetivo de identificar las fortalezas y las debilidades de nuestro ecosistema matemático. La idea principal era elaborar una serie de documentos que pudiesen servir de referencia tanto para las diferentes instituciones relacionadas con la política educativa, profesional o científica, como para la propia comunidad matemática. Además, el trabajo debía servir para abrir un foro de debate, con elementos razonados, coherentes y rigurosos, sobre las diferentes decisiones y medidas a adoptar en el futuro. Con este objetivo, al final del libro, se pueden encontrar una serie de propuestas de acción, concebidas como elementos útiles para avivar una discusión que consideramos crucial para el futuro de las matemáticas y de la ciencia en nuestro país. La importancia de este debate no se circunscribe solamente en la comunidad matemática, sino que se extiende más allá, por las importantes implicaciones que tiene en el objetivo de alcanzar un modelo de sociedad que sea capaz de adaptarse a un mundo cada vez más fuertemente basado y dependiente de las nuevas tecnologías.

El diagnóstico se ha centrado en ocho líneas de análisis interconectadas: enseñanza de las matemáticas (tanto en el ámbito no universitario como en el universitario), salidas profesionales, investigación, impacto económico de las matemáticas en nuestro sistema productivo, divulgación, problemáticas de género, internacionalización, premios y reconocimientos científicos. Las nueve comisiones de trabajo involucradas han elaborado unos documentos de gran valor con conclusiones propias, por lo cual cada uno de los documentos puede ser leído y utilizado independientemente. Este trabajo común ha servido para delimitar un conjunto de recomendaciones, que han sido discutidas en el seno de la Junta de Gobierno de la RSME, y se incorporan como guía de acción para el futuro inmediato.

Para realizar esta tarea, hemos contactado con algunos de los mejores especialistas en los temas en discusión. Estos equipos han realizado una exhaustiva tarea de búsqueda de fuentes con la finalidad de que los datos que sustentan los análisis de cada una de las líneas desarrolladas por las comisiones de trabajo sean contrastables y permitan una visión dinámica de los temas que se han analizado. Además, cada uno de los grupos de trabajo han extraído sus opiniones sobre los

temas tratados, lo que nos permite tener diferentes puntos de vista que enriquecen la visión conjunta.

Tras esta labor, disponemos de una visión del ecosistema matemático de nuestro país que ha permitido y permitirá, a través de este exhaustivo trabajo, identificar los retos más destacados a los que nos enfrentamos en los próximos años, conocer las amenazas y oportunidades para llevarlos a cabo y, fundamentalmente, cimentar la convicción del papel que debe asumir la RSME para posibilitar una labor intelectual colectiva absolutamente necesaria para conformar una sociedad más culta y democrática.

Queremos agradecer su esfuerzo a los más de cincuenta compañeros y compañeras que han posibilitado la elaboración de este Libro Blanco, llevando a cabo un sistemático proceso de análisis y reflexión sobre líneas de mejora en las temáticas que han abordado, así como a quienes, con su generosa colaboración, han facilitado la tarea de validar muchas de las propuestas que hemos planteado en forma de recomendaciones.

Un apartado especial de agradecimientos lo queremos dedicar a diversos organismos (FECYT, Agencia Estatal de Investigación, diferentes Ministerios (Educación, Ciencia e Innovación y Universidades), entre muchos otros) que nos han facilitado el acceso a fuentes de información y documentación indispensable para el trabajo de elaboración del Libro Blanco.

Finalmente, deseamos agradecer a la Fundación Ramón Areces su apoyo, tanto económico como técnico, para llevar a buen puerto este apasionante proyecto. Esperamos que este Libro Blanco sea un instrumento útil para proyectar y mejorar el papel de las matemáticas en nuestro país, a la par que para afianzar el papel público y la consideración social de la comunidad matemática. La Real Sociedad Matemática Española se muestra así como una organización científica que reflexiona y hace propuestas a la sociedad en base a su conocimiento específico sobre las matemáticas pero, también, comprometida en mejorar su contribución a la transformación de una realidad compleja que requiere de las características definitorias de las matemáticas, más allá de servir de lenguaje de la naturaleza en los términos definidos por Galileo Galilei.

Tomás Chacón, Guillermo Curbera, Francisco Marcellán,  
David Martín, Mercedes Siles  
Madrid, 15 de febrero de 2020

# LA EDUCACIÓN MATEMÁTICA EN LAS ENSEÑANZAS OBLIGATORIAS Y EL BACHILLERATO

Mireia López Beltrán (Coordinadora)<sup>1</sup>, Lluís Albarracín Gordo<sup>2</sup>,  
Irene Ferrando Palomares<sup>3</sup>, Jesús Montejo-Gómez<sup>4</sup>, Pedro Ramos Alonso<sup>5</sup>,  
Ana Serradó Bayés<sup>6</sup>, Elena Thibaut Tadeo<sup>7</sup>,  
Raquel Mallavibarrena (Coordinadora de los dos bloques de educación)<sup>8</sup>

1: Universitat Politècnica de Catalunya

2: Universitat Autònoma de Barcelona

3: Universitat de València

4: Universidad de Granada

5: Universidad de Alcalá

6: Colegio La Salle-Buen Consejo de Puerto Real

7: CEFIRE-CTEM y Universitat de València

8: Universidad Complutense de Madrid

El compromiso de la Real Sociedad Matemática Española (RSME) con la educación matemática se caracteriza por tener entre sus fines el fomento de la enseñanza matemática en los diferentes niveles educativos: infantil, primaria, secundaria, formación profesional y universidad. En palabras de su presidente, Francisco Marcellán: “Las Matemáticas son una materia central en todos los sistemas educativos del mundo por dos razones: primero, por su carácter formativo y segundo, por su carácter instrumental, que se modela en crecientes aplicaciones en muy diversos ámbitos del conocimiento y del desarrollo de un país” (2017). En este capítulo se abordarán las etapas de educación primaria y secundaria y la formación inicial en el Grado de Educación Infantil y Primaria. La perspectiva de género (que cuenta con capítulo propio en este Libro Blanco) se ha tenido en cuenta de manera integrada en esta parte de educación por su especial importancia.

El presente capítulo pretende abordar el proceso de enseñanza-aprendizaje en su globalidad y cubrir sus diferentes aspectos. Para ello, se divide en tres partes, se empieza por centrar la mirada en el proceso de aprendizaje a partir de

los currículums<sup>1</sup> y su evolución en estos últimos años. En la segunda parte, y de manera conjunta para las dos etapas, se tratan las estrategias de enseñanza-aprendizaje con especial interés en la resolución de problemas, la modelización, la perspectiva STEAM (*Science, Technology, Engineering, Arts y Mathematics*) y las herramientas TIC. Esta segunda parte se completa con una mirada a la evaluación competencial del alumnado y al proceso reflexivo del profesorado en la búsqueda de la mejora continua de su labor docente. La tercera y última parte centra el foco en el personal docente: en su formación inicial (en los grados de Educación Infantil y Primaria) y en su desarrollo profesional (la formación permanente y continua).

## 1. EL PROCESO DE APRENDIZAJE

### 1.1. Educación matemática en la educación primaria

La falta de estabilidad normativa de nuestro sistema educativo se refleja también en la etapa de educación primaria. Si se limita a este siglo, la LOCE<sup>2</sup> entró en vigor en el año 2002, fue sustituida por la LOE<sup>3</sup> en el 2006 y, finalmente, por la LOMCE<sup>4</sup> en el 2013. La organización general de la etapa de primaria, con una duración de seis cursos, se ha mantenido estable. El principal cambio ha sido la desaparición de la estructura por ciclos: tanto la LOCE como la LOE organizaban los seis cursos de primaria en ciclos de dos cursos, y fijaban objetivos y contenidos en cada uno de esos tres ciclos. En la LOMCE se cambió a la organización en seis cursos, si bien en la orden ministerial correspondiente se fija el currículo de toda la etapa de primaria, y se deja en manos de las comunidades autónomas la distribución de contenidos en los seis cursos de la etapa. Esto ha provocado que aparezcan diferencias entre los diseños curriculares de diferentes comunidades. Este hecho, junto con la aplicación o no de las pruebas externas que introdujo la ley, hace que sea

---

<sup>1</sup>Regulación de los elementos que determinan los procesos de enseñanza y aprendizaje para cada una de las enseñanzas. El currículo estará integrado por los siguientes elementos: los objetivos de cada enseñanza y etapa educativa, las competencias, los contenidos, la metodología didáctica, los estándares de aprendizaje evaluables y los criterios de evaluación.

<sup>2</sup>Ley Orgánica de Calidad de la Educación (LOCE), Ley Orgánica 10/2002.

<sup>3</sup>Ley Orgánica de Educación (LOE), Ley Orgánica 2/2006.

<sup>4</sup>Ley Orgánica para la Mejora de la Calidad Educativa, Ley Orgánica 8/2013.

cada vez más difícil describir la situación de la enseñanza de las Matemáticas en Educación Primaria (EP) en España, ya que existen diferencias relevantes entre comunidades.

Para contextualizar la situación española a nivel internacional, la herramienta fundamental es el estudio TIMSS (*Trends in International Mathematics and Science Study*), una prueba muestral organizada por la IEA (*International Association for the Evaluation of Educational Achievement*) cuyo universo de estudio es el alumnado de 4º de primaria y de 8º de educación obligatoria. Nuestro país ha participado en los estudios de los años 2011 y 2015 en la prueba correspondiente a 4º de primaria (hubo una participación en el estudio de 1997, en el nivel que entonces correspondía con 8º EGB, pero la falta de continuidad hace difícil poder extraer alguna información de ella). Los resultados de España en el estudio de 2011 no fueron buenos, y se situaron por debajo de la media. En concreto, de los países desarrollados, fueron los peores, junto con los de Polonia y Rumanía. El análisis fue muy amplio y participaron también numerosos países en vías de desarrollo.

En el estudio de 2015 se produjo una ligera mejoría, aunque se sigue a la cola de Europa. De un total de 25 países europeos participantes, los 505 puntos del resultado de España solo están por delante de los 502 de Croacia, los 499 de Eslovaquia y los 488 de Francia. En este estudio participaron varias comunidades autónomas con muestras de tamaño suficiente para obtener datos segregados. En la siguiente tabla se muestran los resultados de TIMSS, junto con los del estudio PISA (*Programme for International Student Assessment*). Como se puede observar, existe una fuerte correlación entre los datos obtenidos en ambos estudios a pesar de que TIMSS corresponde a 4º de primaria y el universo de PISA es el alumnado de 15 años. El enfoque de las pruebas también es bastante distinto; PISA pone el énfasis en la “alfabetización matemática” y en la aplicación de conceptos matemáticos básicos a situaciones realistas, mientras que TIMSS es una prueba más ligada al contenido curricular.

Tabla 1

	TIMSS 2015	PISA 2015
Media UE	519	493
Media OCDE	525	490
España	505	486
Castilla y León	531	506
Madrid	525	503
Asturias	518	492
La Rioja	518	505
Cataluña	499	500
Andalucía	486	466

Por citar resultados de otros países en TIMSS 2015, Reino Unido y Bélgica obtuvieron 546 puntos; Portugal, 541; Polonia, 535; Holanda, 530; Alemania, 522 o Italia, 507.

En cuanto a la atención a la diversidad, en TIMSS 2015 aparecen datos relevantes que apuntan en la misma dirección que los procedentes de otros estudios. El porcentaje de estudiantes con bajo rendimiento en España está en la media: 6,8% es el promedio OCDE, 7% en el caso de España. Sin embargo, con respecto al número de alumnado con rendimiento avanzado, se está muy por detrás: 9,9% es el promedio OCDE y 3,4%, el dato para España. La atención a la diversidad es un tema que merece especial atención, demanda recursos específicos y estrategias para atender al alumnado en los dos extremos de la distribución. Estos datos apuntan a que se requiere una mejoría en la atención al alumnado con alto rendimiento.

Se requiere una mejor atención del alumnado con alto rendimiento en matemáticas

También en el análisis de género aparecen algunos datos que sugieren que existe una brecha de género en la educación matemática, ya en edades tempranas. Entender sus causas es imprescindible para diseñar políticas dirigidas a solucionar este problema, por lo que es fundamental investigar cómo y cuándo se origina esta brecha de género<sup>5</sup>. En la media global internacional, los resultados promedio por género son exactamente los mismos, 505 puntos en ambos casos.

<sup>5</sup> Véase capítulo sobre Igualdad de Género en este Libro Blanco

Sin embargo, los datos obtenidos en nuestro país, desglosados en la tabla 2, indican diferencias significativas.

Tabla 2

	2011	2015
Niños	488	511
Niñas	477	499

Como se aprecia, la diferencia se ha mantenido constante en los dos estudios y está entre las mayores de todos los países participantes. Solo en Italia es mayor (20 puntos) y es igual a la observada en Croacia, Eslovaquia y Portugal. En el promedio de la OCDE, los resultados de los niños son 6 puntos superiores a los de las niñas. La variabilidad de esta diferencia de resultados entre diferentes países es una indicación sólida de que **el origen de la diferencia hay que buscarlo en el entorno sociocultural, o en el propio sistema educativo**, y parece urgente indagar en las causas de la diferencia de rendimiento por género observadas en España a tan temprana edad.

Por último, en la tabla 3 se muestran los resultados del alumnado español en los diferentes dominios de contenido y cognitivos en el estudio TIMSS 2015.

Tabla 3

Dominios de contenido		Dominios cognitivos	
Números	504	Conocer	505
Geometría y medida	503	Aplicar	505
Representación de datos	509	Razonar	502

Faltan los datos promedio con los que comparar estos resultados por dominios, pero sí existen datos sobre el número de países que muestran fortalezas y debilidades relativas (es decir, comparadas con su propio resultado global en el estudio) en cada uno de ellos. En el caso de los dominios de contenido, en 23 países tienen resultados mejores en ‘Números’ que en el global, y en 14 casos los resultados son peores. En ‘Geometría’, esta relación es 17 mejores-21 peores, en tanto que en ‘Representación de datos’ la relación es 17-20. Vemos, por tanto, que en este análisis los resultados de nuestro país no siguen el patrón más frecuente. En cuanto a los dominios cognitivos, los datos de países con fortalezas

y debilidades relativas están muy equilibrados: 17-19 en el dominio ‘Conocer’, 11-10 en el dominio ‘Aplicar’ y 18-21 en el dominio ‘Razonar’. En el caso español, los resultados en ‘Conocer’ y ‘Aplicar’ coinciden con el resultado medio y el dominio ‘Razonar’ desciende ligeramente.

Sería fundamental tener una explicación de los resultados conseguidos por el alumnado de España, que en la comparativa internacional hay que **calificar de mediocres**. Sin embargo, la complejidad del proceso educativo, en el que interviene multitud de factores, hace difícil detectar las causas de las diferencias de rendimiento entre diferentes países. Además de los factores culturales y sociológicos, que tienen indudablemente un impacto, se pueden distinguir los siguientes factores dentro del propio sistema escolar que también influirían:

- Formación del profesorado.
- Materiales didácticos presentes en las aulas, ya sean libros de texto o propuestas elaboradas por los docentes. Uso de tabletas u otros medios tecnológicos.
- Organización y diseño curricular.
- Organización de los centros escolares.
- Financiación en educación en los diferentes países.

Precisamente porque la formación del personal docente es uno de los componentes que determinan de manera fundamental los resultados, está tratado de manera específica en este Libro Blanco.

En cuanto a los materiales didácticos presentes en las aulas, parece que su calidad ha sufrido un deterioro considerable en los últimos años. La necesidad de aprobación previa por parte de la administración para el uso de los libros de texto en las aulas fue eliminada en el año 1997, y no ha sido sustituida por ningún mecanismo que garantice la calidad de los materiales que están siendo utilizados en los colegios. El control de calidad está en manos exclusivamente del profesorado, quizás sin tener suficientemente presente que, para ese control, es esencial una sólida formación en matemáticas, que, según se discute en este mismo Libro Blanco, es otro de los problemas de la situación española. Por supuesto, lo mismo se puede decir cuando se habla de los materiales y las propuestas elaborados directamente por el personal docente. Sin una buena formación matemática y didáctica de los autores y autoras, es difícil que reúnan los requisitos necesarios para que den buenos resultados en las aulas.

Respecto al actual currículo de Matemáticas en la etapa de primaria, no se puede hacer un análisis detallado, pero sí se van a señalar algunos de los aspectos que requieren, a nuestro juicio, de una revisión:

- El **currículo está sobrecargado de contenidos**, lo que hace que no se disponga del tiempo necesario para que el alumnado comprenda en profundidad los conceptos y técnicas básicos. Este problema afecta también a currículos de otros países, se suele describir en el mundo anglosajón como “a mile wide and an inch deep” (muy extenso, muy poco profundo) y se menciona en recientes informes (OECD, 2019). El alumnado estudia muchos contenidos, pero parece aprender pocos. Un enfoque alternativo, que ha sido seguido por varios países que figuran como referentes de éxito educativo, sería elegir los temas importantes y estudiarlos en profundidad para que el alumnado esté en condiciones de avanzar desde bases realmente sólidas.

El alumnado estudia muchos contenidos, pero parece aprender pocos

- **La repetición de contenidos en diferentes cursos es excesiva**, y en combinación con la sobrecarga de temas mencionada en el punto anterior, hace que pocas veces se disponga del tiempo suficiente para desarrollar las tareas necesarias para conseguir un aprendizaje real. El diseño en espiral del currículo está basado en teorías de aprendizaje bien establecidas. Sin embargo, los detalles de esa espiral –cuánto se avanza en un contenido al volver a tratarlo de nuevo, para evitar repeticiones– debería ser objeto de revisión.
- Los **procesos, métodos y actitudes se contemplan en un bloque de carácter transversal**. Sin embargo, quizá por la inercia de enfocarse en los contenidos, quizá por falta de formación específica de los docentes, la realidad parece ser que este bloque no está siendo tratado de manera suficiente en las aulas. Son necesarias nuevas iniciativas para hacer evolucionar las prácticas de la mayoría de las aulas, centradas casi siempre en el resultado final y, de esta manera, darle importancia al razonamiento y a la explicación de los procedimientos necesarios para llegar a ese resultado. Una opción podría ser incluir en el currículo “experiencias de aprendizaje” concretas, como por ejemplo, usar materiales manipulativos para hacer grupos de diez y de cien, a la hora de explicar conceptos como la introduc-

ción de la notación posicional. En otra dirección, siguiendo el principio de que “lo que no se evalúa, no existe”, se debería incidir en la importancia de evaluar el razonamiento en la resolución de problemas.

- Es necesaria una **reflexión sobre el papel de los algoritmos tradicionales** en la educación matemática actual. En el currículo se menciona la “automatización” de los algoritmos tradicionales, llegando en el caso de la división a los dividendos de hasta 6 cifras y divisores de hasta 3 cifras.
- En otras ocasiones, la falta de claridad hace que la **inercia prevalezca**. Aún siguen presentes en algunas de nuestras aulas y libros de texto técnicas como el algoritmo tradicional para el cálculo de la raíz cuadrada, que no se recoge explícitamente en el currículo desde el año 1997 y que ha desaparecido completamente a nivel internacional.
- Sigue presente terminología que quizá fue de uso común en el pasado, pero que no es matemática ni se usa en la vida cotidiana como, por ejemplo, “cuerpos redondos” o “ley del doble”. También se sigue enseñando la “regla de tres”, una técnica que es considerada inadecuada por la gran mayoría de especialistas en didáctica de las matemáticas, ya que induce a errores de aprendizaje y dificulta la comprensión de la proporcionalidad.
- **Se abusa de terminología** poco adecuada para edades tempranas. La presencia de términos demasiado técnicos para la edad del alumnado dificulta la comprensión, además de que puede presentar las matemáticas como algo lejano y complicado. Se debería revisar la presencia de términos como minuendo, sustraendo, dividiendo o cociente en el currículo de los primeros cursos de primaria.

En cuanto a los contenidos cuyo tratamiento en el currículo se debería considerar, se destacan los siguientes:

- La **introducción al álgebra**, también llamada preálgebra, se inicia en muchos países (Estados Unidos, Canadá o Singapur son solo algunos ejemplos) en los cursos correspondientes a los últimos años de la educación primaria en España. Esto permite al alumnado disponer del tiempo necesario para desarrollar la capacidad de pensamiento abstracto, fundamental para continuar el estudio de las Matemáticas. En España se pasa, en apenas dos cursos, de la nula presencia de los razonamientos algebraicos en la etapa de primaria a desarrollos quizá excesivamente técnicos en 2º y 3º

de ESO. Las dificultades que surgen en una adecuada transición de los contenidos prealgebraicos que se imparten en primaria y los contenidos algebraicos de secundaria, así como las posibilidades de innovación se tratan con más profundidad en la subsección de este mismo capítulo referida a las matemáticas en la etapa de educación secundaria.

- El **estudio de la geometría** es ideal para desarrollar la capacidad de razonamiento y la resolución de problemas. Sin embargo, en la mayoría de las aulas su enseñanza se reduce al estudio de los problemas de medida y al cálculo de perímetros, áreas y volúmenes, con ayuda de las fórmulas correspondientes. Otros aspectos del pensamiento geométrico, como el estudio de las figuras y sus propiedades (problemas de ángulos y de geometría deductiva en general), tienen poca presencia en el currículo oficial. Su tratamiento en las aulas suele ser limitado, casi siempre condicionado por la costumbre de situarlo al final de los libros de texto, con los problemas de falta de tiempo que eso suele llevar aparejado.
- La **estadística y la probabilidad** son seguramente las áreas de las matemáticas que resultan más útiles para tener una ciudadanía informada en una sociedad caracterizada por la multitud de datos que llegan a través de diversos canales. Ser capaz de analizarlos y de inferir la información que proporcionan es un requisito esencial para desarrollar una ciudadanía con espíritu crítico. Su tratamiento en el currículo sufre los mismos problemas que los mencionados en el punto anterior. Se debería estudiar cómo conseguir que el alumnado adquiriera los conocimientos básicos para la interpretación de datos estadísticos y el razonamiento probabilístico.

La comunidad educativa parece consciente de la necesidad de un cambio en la enseñanza de las matemáticas, como muestra la aparición en los años recientes de métodos alternativos de didáctica de las matemáticas como Entusiasmat, Jumpmath, Smartick, ABN o Matemáticas Singapur. Ferrando, Segura y Pla-Castells (2017) realizan un análisis crítico de algunas de ellas, de entre las que merece especial atención la llamada “metodología Singapur” por las siguientes características:

- Está basada en ideas bien contrastadas en el campo de la didáctica de las matemáticas. Destaca el aprendizaje en tres etapas de Jerome Bruner.

- Está enfocada hacia las actividades de mayor valor cognitivo: comprensión, razonamiento y resolución de problemas.
- Lleva siendo utilizada en el país que le da nombre desde hace aproximadamente 30 años, con excelentes resultados en las pruebas internacionales de referencia.
- Está siendo implementada también en países de nuestro entorno, desde hace algunos años en el caso de Reino Unido, con resultados positivos (Sandall, 2016) y es una de las propuestas del *Informe Villani* para la mejora de la enseñanza de las matemáticas en Francia (Villani y Torossian, 2018; AMS, 2018).

No se pueden cerrar estas páginas dedicadas a la enseñanza de las matemáticas en educación primaria sin mencionar uno de los pilares básicos de su funcionamiento: la formación del profesorado. El estudio TEDS-M (*Teacher Education and Development Study in Mathematics*) del año 2011 (INEE, 2018) sigue siendo la referencia más importante para hacer una comparativa a nivel internacional. En él, se analizaron los conocimientos matemáticos (tanto de contenidos como de didáctica) del alumnado de último curso de la entonces diplomatura en Magisterio de Educación Primaria. Uno de los datos más llamativos del estudio es la falta de un modelo común para la formación del personal docente de primaria. El necesario equilibrio entre formación en contenidos y formación en metodologías se busca en algunos lugares estructurando la formación en dos etapas (en primer lugar, los contenidos, después, la metodología) y en otros, como ocurre en nuestro país, trabajando los dos aspectos de manera simultánea. En lo que respecta a los resultados de nuestro alumnado de magisterio, estuvieron en línea con el resto de pruebas internacionales, es decir, por debajo de la media de los obtenidos por los países de nuestro entorno.

Falta un modelo común para la formación del personal docente de primaria

Una de las opciones que se pueden considerar para resolver este problema es introducir la especialización entre el personal docente de primaria. Sin embargo, debemos tener presente que algunos estudios (Fryer, 2018) sugieren que esta medida podría tener efectos negativos en el aprendizaje, debido a que dificulta la interacción personal docente-alumnado, fundamental en las primeras etapas de la educación. Una opción intermedia podría ser considerar la figura del docente

con formación reforzada en matemáticas, no con el objetivo de que se encargue de toda la docencia de matemáticas, sino con la idea de que asuma un rol de coordinación entre los equipos docentes y los ayude en el desempeño de aquellas tareas relacionadas con el área de Matemáticas. Una vía para ello podría ser reconsiderar el sistema de acceso a la función pública: no está claro que deba haber una vía reservada a docentes especialistas en áreas como Educación Física, Música o Inglés, y no tener una parte de las plazas destinadas a promover a docentes con formación reforzada en las áreas instrumentales: Matemáticas y Lengua.

## 1.2. Educación matemática en la educación secundaria

Desde 1990, el currículo de educación matemática en la etapa escolar de educación secundaria en España ha experimentado cinco reformas de calado. En esta sección vamos a profundizar en las tres que corresponden al siglo XXI (LOCE 2003, LOE 2006 y LOMCE 2013). Todas ellas se han basado en garantizar los principios de universalidad, comprensibilidad y equidad del Sistema Educativo. Dichos principios van a guiar la presentación de debilidades, fortalezas y oportunidades de la educación matemática en educación secundaria para una transición continua y sin brechas desde la etapa de educación primaria hasta la universidad.

El derecho universal a la escolarización en la Educación Secundaria Obligatoria establecido en la LOGSE 1990, supuso el reto de la determinación de los contenidos mínimos para asegurar la alfabetización matemática de todo el alumnado. Sin embargo, los primeros resultados de las Pruebas PISA del año 2000 (OCDE, 2002) **mostraron las dificultades del alumnado participante para reconocer e interpretar problemas en contextos personales, sociales y laborales**. Es más, dichas pruebas pusieron en evidencia las disyunciones entre la organización cognitiva del currículo LOGSE de 1990, basada en conceptos, procedimientos y actitudes (RICO et al., 2011), y la visión fenomenológica de las pruebas PISA 2000, que adjudicaban tres niveles de complejidad cognitiva, reproducción, conexión y reflexión, para los fenómenos organizadores de la evaluación (cantidad, espacio y forma, cambio y relaciones e incertidumbre).

Los resultados de PISA 2000 propiciaron el cuestionamiento de los principios de universalidad y comprensibilidad de la educación matemática vigente hasta el momento, y la concreción de un nuevo currículum LOCE 2003. Por una parte, se enfatizó, aún más si cabe, que la universalidad de la educación ma-

temática debía asegurar la comprensibilidad para todo el alumnado de forma que le aportase conocimientos y destrezas para la vida. Distinguiendo en Educación Secundaria Obligatoria (MECD, 2004), entre las Matemáticas de 4º A con un carácter marcadamente funcional, que favoreciesen el manejo en aspectos prácticos de la vida cotidiana; y una finalidad propedéutica para Matemáticas de 4º B, que facilitase el acceso a otras ramas de la ciencia y la continuidad de los estudios de Formación Profesional o Bachillerato. Así pues, la transición al Bachillerato LOCE (MECD, 2003) se dictaminaba como la culminación de un largo proceso destinado a asumir con el suficiente formalismo determinados contenidos conceptuales que caracterizan la estructura intrínseca de las matemáticas (como, por ejemplo, los polinomios). Aunque se solicitaba el equilibrio entre el desarrollo de contenidos y procedimientos, la realidad hizo de este currículum un cajón de sastre. Cajón donde debían caber los contenidos antiguamente incluidos en la etapa de secundaria obligatoria, que se habían eliminado por carecer de una finalidad funcional para la vida cotidiana y que se consideraban primordiales para una adecuada transición a la universidad. La amplitud de contenidos y el carácter “atomicista” del mismo se ha reproducido en las reformas del currículo de Bachillerato incluidas en LOE 2006 y LOMCE 2014, teniendo consecuencias en las transposiciones didácticas del currículum dictaminado al real del aula y al evaluado en las pruebas de acceso a la universidad. Dicha transposición reduce el currículum a la producción de resultados que se consideran imprescindibles para la transición a la universidad y la reproducción de actividades matemáticas tipo; sin embargo, asigna un rol decorativo a los axiomas, definiciones y demostraciones. A su vez, los autores y editores de libros de texto los entienden como manuales enciclopédicos, donde incluir axiomas, definiciones, teoremas, demostraciones y un amplio abanico de ejercicios matemáticos tipo. Esta perspectiva contrasta con una formación universitaria más focalizada en la organización teórica del contenido matemático, los fundamentos del conocimiento y la presentación de demostraciones y teoremas como herramientas para responder a los problemas que han favorecido el avance matemático. Un detalle pormenorizado de esta formación se puede consultar en el capítulo de educación universitaria. Las dificultades que surgen en la transición de la educación secundaria a la universidad no son únicas de España, está ampliamente reconocido en la comunidad científica que es un esfuerzo desafiante tanto desde la perspectiva del alumnado como del profesorado (Gueudet, 2008). Las principales dificultades del estudiantado al enfrentarse a los desafíos de las matemáticas del nivel universitario son la traducción del razonamiento informal en

argumentos válidos y la falta de estrategias de argumentación y de competencias para demostrar (Stylianides et al., 2017). La RSME, editora de este libro, está directamente involucrada en la búsqueda de acciones para mejorar esta situación. Por ello, durante el año 2019 ha participado en dos iniciativas para analizar la situación: la participación en la Comisión de Educación del Comité Español de Matemáticas con sus jornadas sobre “Evaluación de Bachillerato para el acceso a la Universidad” y la colaboración, a nivel internacional, en la encuesta de la European Mathematical Society (EMS) sobre las transiciones en matemáticas.

Por otra parte, con el fin de asegurar la comprensibilidad de la materia por parte de todo el alumnado, en la LOCE 2003 se incluía la propuesta curricular para la educación obligatoria de que la enseñanza de la matemática debía tratarse de forma cíclica. En consecuencia, se concebía el currículum de manera que en cada curso a la vez que se introducían nuevos contenidos, se revisasen los de cursos anteriores y se ampliase su campo de aplicación y se enriqueciesen con nuevas relaciones. Se pueden encontrar posturas enfrentadas entre el profesorado que considera esta revisión de los conocimientos de cursos anteriores como una repetición no necesaria, que se podría obviar si se trabajasen los contenidos una única vez con profundidad, o la que apoya la RSME (Marcellán, 2017), que propone mejorar el enfoque de la enseñanza en espiral, de forma que además sea una oportunidad para atender a la diversidad del alumnado.

Sin embargo, hasta los decretos asociados a la reforma de la LOE 2006 no se observa en España una intención manifiesta en los diseños curriculares de Educación Secundaria Obligatoria por superar la visión cíclica de la adquisición del conocimiento, a partir de la repetición de los contenidos del curso anterior, hacia una propuesta en espiral que propone la evolución hacia niveles superiores de desarrollo competencial. Ante la debilidad que surge al transferir el conocimiento de un nivel educativo al siguiente, existe la fortaleza de concebir el currículum en espiral y la oportunidad, desde una perspectiva fenomenológica, para innovar e investigar sobre cómo organizar el contenido de forma que favorezca el desarrollo de la competencia matemática en otros contextos. Un ejemplo, digno de mención, sobre las oportunidades de innovación curricular es la propuesta estadounidense del *Common Core State Standards for Mathematics*, que supera la visión cíclica de la organización curricular y propone una visión hexagonal de la articulación del aprendizaje. Esta estructuración favorece el diseño de diferentes trayectorias de aprendizaje para el alumnado con el fin de su desarrollo competencial (Confrey et al., 2014).

En España, una vez asegurada, al menos en papel, la alfabetización matemática en etapas escolares obligatorias, los marcos teóricos de las evaluaciones PISA (OCDE, 2019) 2003, 2006, 2009 y 2012 influenciaron la reforma de los sistemas educativos de la Unión Europea con el fin de asegurar el desarrollo y evaluación de las competencias básicas y claves, concretadas en el estado español en la LOE 2006 y la LOMCE 2014. Dichas leyes orgánicas decretaron la necesidad de la realización de pruebas de diagnóstico de carácter muestral o poblacional para cada comunidad autónoma.

Estas evaluaciones no deberían diseñarse con la intención de clasificar el nivel competencial del alumnado y/o los centros educativos, sino como un instrumento para establecer un marco de referencia que favorezca la transición a la vida adulta para una plena ciudadanía y garante de la continuación en la formación matemática. En este sentido, debe existir una transición continua entre el desarrollo de la competencia matemática en edades escolares y las competencias profesionales de un matemático en activo (los conocimientos, destrezas y actitudes que se ponen en juego para la construcción y validación del conocimiento matemático). La conceptualización de la competencia matemática, su desarrollo curricular, su implementación metodológica y evaluación están suponiendo un proceso largo y arduo, que merecen una descripción pormenorizada en la sección: “*El papel de la resolución de problemas: modelización y competencias STEAM*” de este mismo capítulo.

En el currículo de Matemáticas para la Educación Secundaria Obligatoria de la LOE 2006 (MEC, 2016) se puede observar la primera influencia del desarrollo de competencias en la organización curricular. Dicho documento incluía un bloque de contenidos comunes, que coinciden con las competencias matemáticas evaluadas en PISA 2003, que se constituía como el eje transversal vertebrador del desarrollo del conocimiento matemático disciplinar. Estos son: la resolución de problemas, la verbalización de los procesos de resolución, la interpretación de mensajes y el uso de herramientas tecnológicas. Además, consideraba como contenido común el desarrollo de actitudes matemáticas como la autoconfianza, la flexibilidad de pensamiento y la perseverancia.

Paralelamente, las propuestas del Plan Bolonia para las universidades también cuestionaban la necesidad de desarrollar y evaluar las competencias profesionales. Sin embargo, en el currículo dictaminado para Bachillerato (MEC, 2007) no se mencionaba dicho desarrollo competencial, sino que se anclaba en

el desarrollo disciplinar de la materia. En dicho currículo se indicaba que los contenidos de Matemáticas como materia de modalidad en el Bachillerato de Ciencias y Tecnología giraba en torno a dos ejes fundamentales: la geometría y el álgebra, condenando a que los bloques de análisis y probabilidad desaparecieran del currículo real del aula y de las pruebas de acceso a la universidad. En cambio, en la modalidad de Ciencias Sociales se otorgaba igual importancia a todos los bloques disciplinares: aritmética y álgebra, análisis y probabilidad y estadística. Sin embargo, para esta modalidad las directrices curriculares relativizaban la presencia de la abstracción simbólica, el rigor sintáctico y la exigencia probatoria. Estas directrices han condenado el aprendizaje de las Matemáticas en las Ciencias Sociales a la aplicación de métodos y estrategias inconexas entre sí, en lugar de reconocer la potencialidad de la teoría matemática fundamentada en unos procesos de pensamiento lógico y analítico.

Esta misma condena se ha repetido al prescribir las diferencias entre Matemáticas Orientadas a las Enseñanzas Académicas y Aplicadas en 3º y 4º de Educación Secundaria Obligatoria de la LOMCE 2014 (MEC, 2015). Mientras que el alumnado de Matemáticas Orientadas a las Enseñanzas Académicas deberá profundizar en el desarrollo de las habilidades de pensamiento matemático, el estudiantado de Matemáticas Orientadas a las Enseñanzas Aplicadas deberá progresar en la adquisición de algunas habilidades de pensamiento matemático como son: el análisis, la interpretación y la comunicación de técnicas. La diferencia entre ambas dista mucho de las propuestas internacionales de organización curricular que discriminan entre la modelización y la aplicación de las matemáticas para la detección y resolución de problemas asociados a fenómenos del mundo real. Dichas diferencias se concretarán en otra sección de este capítulo, indicando las oportunidades que suponen el desarrollo de un currículum innovador orientado a la modelización y aplicación de fenómenos reales.

LOMCE 2014 introdujo un bloque titulado “*Procesos, métodos y actitudes en matemáticas*”, que se configura como el articulador de los procesos básicos e imprescindibles en el quehacer matemático en las etapas escolares. Los procesos comunes establecidos por toda la etapa, llamados competencias específicas o capacidades matemáticas en los documentos PISA, son: la resolución de problemas, los proyectos de investigación matemática, la matematización y modelización, las actitudes adecuadas para desarrollar el trabajo científico y la utilización de medios tecnológicos. La importancia de estas competencias específicas y el

uso de los medios tecnológicos se fundamentan en otras secciones de este mismo capítulo.

En Educación Secundaria Obligatoria se enfatiza que el alumnado desarrolle procesos de resolución de problemas, mientras que en Bachillerato se da más importancia a los procesos de investigación. En particular, dentro de los procesos de matematización en el Bachillerato de Ciencias y Tecnología se incluye la realización de demostraciones sencillas de propiedades o teoremas. Esta propuesta, tal y como se ha argumentado con anterioridad, es insuficiente para una adecuada transición a los estudios universitarios.

Los resultados de las pruebas de diagnóstico de las comunidades y los resultados PISA 2018 indagan si la existencia de diferentes itinerarios de desarrollo de pensamiento matemático por parte del alumnado son un elemento precursor de la equidad del sistema educativo español (Varquero, 2018). El programa de evaluación PISA 2018 (OECD, 2018) no aporta información específica sobre los niveles de desarrollo de la competencia matemática, como en evaluaciones anteriores de los programas PISA. En cambio, evalúa las asimetrías internacionales del desarrollo de la competencia global.

La competencia global es un objetivo de aprendizaje multidimensional y permanente, donde el estudiantado puede examinar cuestiones locales, globales e interculturales, comprender y apreciar diferentes perspectivas y visiones del mundo, interactuar con éxito y de manera respetuosa con los demás, y actuar de modo responsable hacia la sostenibilidad y el bienestar colectivo. En particular, las recomendaciones de la Unión Europea del año 2018 sobre educación, enfatizan que las cuestiones para el desarrollo de la competencia global deberán referirse a los objetivos mundiales de desarrollo sostenible para el 2030 (Naciones Unidas, 2015). Algunos ejemplos de ellos, que pueden convertirse en situaciones problemáticas de aprendizaje multidimensional, son: la sostenibilidad del agua y el saneamiento, el crecimiento económico, la organización de las ciudades, el consumo y la producción sostenible de bienes, el cambio climático, los sistemas terrestres y marinos, etc. Uno de los ejemplos propuesto en los marcos teóricos del PISA 2018 para el desarrollo de dicha competencia global es que el alumnado decida si son las funciones lineales o las exponenciales las que ajustan mejor los datos de crecimiento de la población mundial.

Este documento subraya que se debe evitar el riesgo de que la educación global se convierta en un plan de estudios cajón de sastre donde todo cabe. Para

superar esta dificultad, la formación inicial y permanente debería proveer al profesorado de educación secundaria de conocimiento tecnológico, pedagógico y matemático que fomente una educación matemática crítica, intercultural y sostenible. Esta necesidad debe ser una oportunidad de mejora de la formación inicial y permanente del profesorado de Matemáticas –recogida en otra sección de este capítulo.

Cabe destacar los esfuerzos realizados por las administraciones educativas de las comunidades autónomas y los centros escolares, los departamentos didácticos y docentes de Matemáticas que, a título individual, han considerado los documentos PISA y las pruebas de diagnóstico como una oportunidad para mejorar las propuestas curriculares vigentes y no como un mero establecimiento de rankings. Estas fortalezas se han visto plasmadas en innovaciones curriculares que han roto la estructura organizativa tradicional de las disciplinas y han apostado por metodologías como el trabajo con tareas auténticas, el aprendizaje basado en problemas y/o proyectos o la integración curricular de las disciplinas académicas de ciencias, tecnología, ingeniería y matemáticas (CTIAM, equivalente en español al acrónimo en inglés STEAM). En España, se están empezando a tener en consideración estas propuestas interdisciplinares de organización curricular para edades escolares, ampliamente implementadas y analizadas en otros países (National Research Council, 2011).

Dichas propuestas no deben entenderse como la desaparición total de las disciplinas, aún presentes en los bloques de contenido matemático de la LOMCE 2014. Por el contrario, se debe concebir como una oportunidad doble para mejorar la estructura disciplinar del conocimiento; una primera, para comprender qué y cómo ciertos fenómenos inciden en las diferentes disciplinas matemáticas y dotan al currículum de un carácter multidisciplinar (por ejemplo, las propuestas CTIM), y una segunda oportunidad, para reconocer los problemas que históricamente han permitido evolucionar las diferentes disciplinas. Estos problemas deberían convertirse en los núcleos organizadores del currículum que facilite la continuidad en el aprendizaje desde su transición en educación primaria hasta la universidad.

Por supuesto, estas oportunidades deben partir de las investigaciones que analizan las debilidades del currículum disciplinar actual (algunas de ellas recogidas ya en las propuestas de la RSME para el Pacto Educativo) (Marcellán, 2017).

La **primera debilidad** parte del hecho de que las primeras conceptualizaciones internacionales de la alfabetización matemática de 1978 (UNESCO, 1978) se relacionaron con los conocimientos y destrezas necesarios para aplicar las operaciones aritméticas aisladamente o de forma secuencial. Dicha concepción persiste en el currículum de educación primaria y educación secundaria donde se concibe la numeración como la aritmetización. La introducción en 1998 del concepto de alfabetización cuantitativa (*quantitative literacy*) (OECD, 2011) abre el paradigma aritmético a nuevas demandas matemáticas que fácilmente incluyen o excluyen la incertidumbre, la causalidad, el azar, la posibilidad o el riesgo. La inclusión de la incertidumbre amplía el campo definitorio del número. Desde una consideración inicial, donde cada número determina una cantidad de objetos, a la descripción de la cuantificación de una situación aleatoria y, finalmente, la abstracción del objeto matemático que representa una cantidad o magnitud. Concebir que el número sea el elemento definitorio común de dos fenómenos inconexos, la cantidad y la incertidumbre, debería permitir al profesorado conectar disciplinas tradicionales en edades escolares como son la aritmética, la estadística y probabilidad.

La ampliación de la conceptualización del número de la cantidad a la cuantificación en situaciones de incertidumbre debería permitir al profesorado conectar dos disciplinas tradicionalmente sin relación como son la aritmética y la estadística y probabilidad. Precisamente, la desconexión entre la estadística y la probabilidad es la **segunda debilidad** del carácter disciplinar del currículum de secundaria. Esta separación se agrava en segundo de Bachillerato, cuando el alumnado debe iniciar el estudio de la estadística inferencial y comprender la finalidad de usar modelos probabilísticos para conjeturar y tomar decisiones sobre distribuciones de datos estadísticos sin reconocer la aplicación matemática de los modelos probabilísticos. Para superar estas disyunciones, se proponen acercamientos curriculares estocásticos, que contemplan la complejidad de las relaciones entre el conocimiento, el razonamiento y el pensamiento estadístico y probabilístico (Batanero y Chernoff, 2018).

Para superar esta disyunción, se necesitan diseños curriculares que:

- a) No reduzcan la estadística descriptiva a la representación gráfica y al cálculo de parámetros, sino que asocien su estudio a procesos de investigación donde sucesivamente aumente el tamaño de la población. Esto permitirá

poder hablar en estudios posteriores del *big data* y la significatividad de la muestra.

- b) Consideren la oportunidad que la inferencia informal tiene en los primeros niveles de la etapa de Educación Secundaria Obligatoria, como iniciación a los procesos de modelización de datos y al estudio de modelos teóricos probabilísticos para su posterior aplicación en la estadística inferencial.
- c) Se establezcan relaciones entre las diferentes aproximaciones a la conceptualización de la probabilidad (subjetiva, clásica, frecuencial, axiomática...) que favorezcan el análisis de la variabilidad de los datos aleatorios, sus distribuciones experimentales y su comparación con las distribuciones teóricas. Ejemplos de buenas prácticas son los proyectos de aprendizaje de la estocástica internacionales como Census at School, Earlystatistics o Proconvic.

Retomar la idea de número y el proceso de abstracción a una cantidad o una magnitud nos permite delimitar la **tercera debilidad** relacionada con el estudio del álgebra. Está referida a la falta de conexión entre el álgebra y las demás subáreas de la matemática y la ausencia de significado cotidiano en el aprendizaje adquirido por el alumnado, reducido, en muchos casos, a la resolución descontextualizada de ecuaciones o a la operatividad con polinomios y matrices. Por ello, se aboga por una transición entre los dos últimos cursos de Educación Primaria y los dos primeros cursos de Educación Secundaria Obligatoria que fomente una evolución natural en la forma de pensar y actuar con objetos, relaciones, estructuras y situaciones matemáticas. Se debe propiciar que el alumnado explore, modelice, haga predicciones, discuta, argumente, compruebe ideas y también practique habilidades de cálculo. En palabras de Kaput (1999), se trata de una *algebratización del currículo*; es decir, la integración del pensamiento algebraico en las matemáticas en edades escolares. Significaría otorgar una visión multidimensional al álgebra acorde con la comprensión de patrones, las relaciones entre las cantidades y las funciones, la representación de las relaciones matemáticas, el análisis de situaciones y estructuras matemáticas usando símbolos algebraicos, el uso de modelos para representar y comprender relaciones cuantitativas y el análisis. Por una parte, desde un punto de vista epistemológico, permitiría conectar los fenómenos de cantidad, cambio y relaciones. Por otra parte, aportaría significado al álgebra lineal del Bachillerato de Ciencias, ya que emergería de forma

natural de la necesidad de unificar los problemas a los que históricamente han dado respuesta las funciones, los sistemas de ecuaciones y las sucesiones.

Al igual que se habla de *algebratización*<sup>6</sup>, se puede hablar de *geometrización del currículo* para superar las debilidades de la organización disciplinar actual de la geometría en edades escolares. Por una parte, los primeros niveles de la educación matemática se reducen habitualmente a la aplicación de fórmulas para determinar los perímetros, longitudes, áreas y volúmenes de figuras. En la aplicación de dichas fórmulas se evidencian las carencias del alumnado en el aprendizaje de las magnitudes básicas y de su medida. Estas dificultades son debidas a la diversidad y disparidad de aproximaciones a dichas nociones y a la ausencia de un programa estable para su enseñanza (Díez et al., 2016).

Por otra parte, no existe conexión entre la forma de abordar los problemas geométricos, que estudian el fenómeno del espacio y la forma, desde la geometría euclidiana sintética y desde la geometría analítica. Esta geometrización del currículo consistiría en el reconocimiento o visualización de las características del espacio y la forma, manipulación física o mediante el uso de programas de geometría que permitan analizar las características del espacio, la forma y el cambio en el movimiento de las figuras, el razonamiento, argumentación y demostraciones lógicas y formales al justificar las proposiciones planteadas. De esta manera, se podrían usar con rigor, adecuado a la edad del alumnado, los diferentes sistemas deductivos y se podrían comparar entre sí para lograr trazar puentes entre la geometría sintética y la geometría analítica. El *software* dinámico, ampliamente descrito en la sección de matemáticas y las tecnologías de la información y comunicación, como Cabri, Skechpad, Cinderella, Scratch, son herramientas polivalentes que permiten la experimentación, interacción y abstracción de los conocimientos geométricos.

En síntesis, en esta primera parte de la sección se han delimitado las debilidades, fortalezas y oportunidades educativas que las diferentes reformas educativas del siglo XXI han aportado a la educación matemática en la etapa escolar de educación secundaria. Dicha información se complementa con la aportada en la anterior sección para la etapa de educación primaria. El análisis curricular es insuficiente, siendo necesario profundizar en la comparación de los sistemas

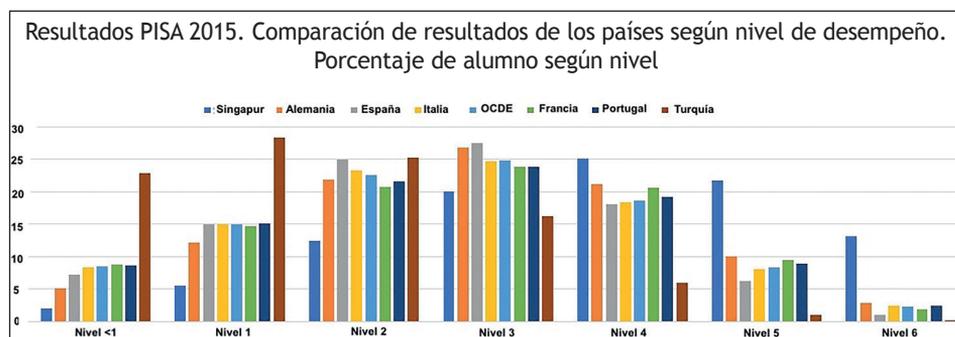
---

<sup>6</sup>Proceso de traducción del lenguaje aritmético y natural al lenguaje algebraico.

educativos y valorar la evolución de los resultados del alumnado en lo que va del siglo XXI. Al contrario, dicho análisis nos ha de permitir entender las necesidades actuales para atender equitativamente a la diversidad del aula. Por ello, se presentan dos análisis en esta sección que complementan los resultados de los programas PISA, las pruebas diagnósticas de las comunidades y el Sistema Estatal de Indicadores de la Educación (SEIE) (MEFP, 2019).

El primer gráfico (figura 1) corresponde a la comparación de los resultados de los países según el nivel de desempeño del alumnado correspondiente a la evaluación PISA 2015. Los países están ordenados de mayor a menor nivel de desempeño global de su estudiantado.

Figura 1

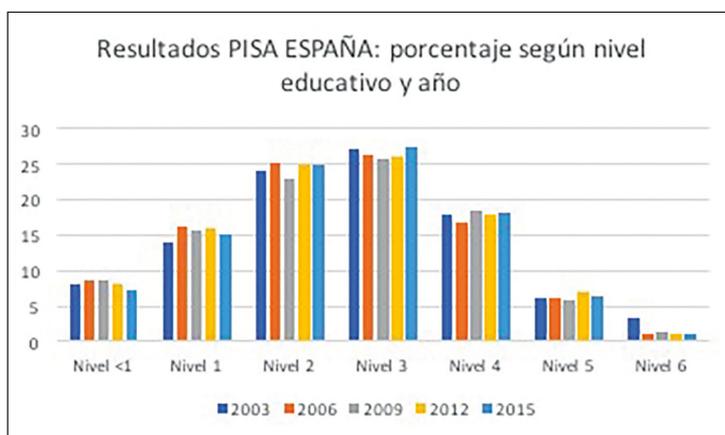


Podemos observar que España se encuentra por encima de la OCDE, superando su alumnado los resultados de sus vecinos Francia y Portugal. Dichos resultados contrastan con los de Turquía, país europeo con los resultados inferiores en la escala de la OCDE, y Singapur, con los mejores resultados en los últimos años, producto de las grandes reformas estructurales de su sistema educativo. En cambio, los resultados de los países europeos, Alemania, España, Italia, Francia y Portugal se acercan bastante a una campana de Gauss, que describiría la distribución demográfica de la población escolar sin intervención directa del sistema escolar para la mejora de los resultados de la evaluación del programa PISA.

El análisis temporal de los resultados PISA España permite concluir que no se observan modificaciones sustanciales en la evolución de la distribución de los niveles de desempeño curricular. En el año 2015, un 15% del alumnado tenía un nivel de desempeño igual a 1 (figura 2), es decir, solo eran capaces de identificar la información y llevar a cabo procedimientos rutinarios provenientes de ins-

trucciones directas en situaciones explícitas. Y aún peor, un 7,2% del estudiantado ni tan solo era capaz de realizar estas acciones. Sumando los porcentajes del nivel inferior e igual a uno obtenemos un 22%, que se sitúa entre los datos aportados por el SEIE 2017 sobre la tasa de abandono escolar que en el año 2016 fue de un 19,20%, y del 22,4% del alumnado que no obtiene el graduado en ESO. Si bien no son públicos los datos reales de número de aprobados en la materia de Matemáticas, la comparación de estos tres resultados indica que no pueden diferir mucho de un 20%. Cabe destacar que un porcentaje importante de este alumnado accede por primera vez a un aula de Matemáticas en la etapa de ESO, no habiendo estado escolarizado en el sistema educativo español con anterioridad.

Figura 2



El peso del alumnado extranjero, respecto al total de matriculado en las enseñanzas en edades escolares, se ha incrementado desde el curso 2000/2001 hasta el 2008/2009, pasando de un 2% a un 9,8%. Mientras que a partir de ese curso escolar la tendencia cambia apreciándose una leve disminución cayendo hasta el 8,6% de media en el curso 2014/15, con un valor máximo para las Islas Baleares del 14,1%.

Si en la parte inferior de la campana tenemos un 22% del alumnado, en la parte superior solo hay un 1%. Este estudiantado de altas capacidades tiene un talento innato para las matemáticas, es capaz de ejecutar, de forma autónoma, todos aquellos procesos definitorios de la competencia matemática en edades escolares. En 2012/2013 (según SEIE 2013), el alumnado de altas capacidades

se distribuía según género de forma muy desigual, siendo un 33,64% mujeres frente al 66,36% de hombres.

Cabe destacar que las tasas de graduación en ESO del SEIE 2017 indican que la diferencia entre las tasas de las mujeres y hombres que se gradúan al finalizar la ESO es de 10,1 puntos a favor de las mujeres. Sin embargo, los resultados de PISA del 2015, y anteriores, muestran una diferencia de 16 puntos a favor de los chicos en Matemáticas, que supera el promedio de los países de la OCDE.

En educación superior no universitaria apenas existen diferencias entre las tasas de matriculación de hombres y mujeres. La tasa de acceso a Formación Profesional Básica, donde se cursa la asignatura de Matemáticas aplicada al contexto personal y de aprendizaje en un campo profesional, es para los hombres del 14,4%, más del doble que para las mujeres (6,7%); en grado medio, las diferencias son menores, aunque también es más alta en los hombres (48,4%) que en las mujeres (36,8%), mientras que en el grado superior se encuentran muy igualadas: 42,7% para los hombres y 41,5% para las mujeres. Aunque en los ciclos formativos no se cursa directamente la disciplina matemática, esta desigualdad persistirá para el alumnado que acceda a la universidad.

Por el contrario, los datos de EDUCABase (MEFP, 2019) indican que la tasa de mujeres graduadas en Bachillerato es claramente superior a la de los hombres (14,7 puntos de diferencia). En Matemáticas I, la diferencia entre el número de mujeres matriculadas (53%) y el de hombres (47%) corresponde a un 6%, mientras que esta diferencia es de 24 puntos a favor de las mujeres en las Matemáticas Aplicadas a las Ciencias Sociales I.

Todos estos datos, junto con el análisis de diferencias de género aportadas en el capítulo específico de este libro, **ponen de manifiesto la falta de equidad de la educación matemática en edades escolares**. Para superar esta inequidad se ha recurrido excesivamente a políticas segregadoras con la finalidad de homogeneizar el sistema educativo. Ejemplos de estas políticas son: la organización de refuerzos educativos, los apoyos al alumnado extranjero o de necesidades educativas especiales fuera del aula o los agrupamientos flexibles. Ante esta debilidad del sistema educativo, el Consejo de la Unión Europea (Comisión Europea, 2018) recomienda fomentar una educación inclusiva para todos los y las aprendientes que brinde el apoyo necesario en función de sus necesidades específicas, incluidos los procedentes de contextos socioeconómicos desfavorecidos, los de

origen migrante, los que presentan necesidades especiales educativas especiales y a los de mayor talento.

Es también necesario destacar las acciones que con carácter extraescolar voluntario (tanto para el alumnado como para el profesorado asistente) realizan las asociaciones de profesorado y universidades para organizar competiciones y acciones para detectar y estimular al estudiantado con talento y/o altas capacidades matemáticas. Destacamos el trabajo de asociaciones como la RSME, la Sociedad Catalana de Matemáticas y las veintiuna sociedades que constituyen la Federación Española de Sociedades de Profesores de Matemáticas que conjuntamente con los departamentos de Matemáticas de las universidades organizan un sin fin de actividades como: la Olimpiada provincial, nacional e internacional para alumnos de bachillerato, la Olimpiada Internacional Femenina, la Olimpiada Iberoamericana, la Olimpiada provincial, regional y nacional para 2º de ESO, las Pruebas Canguro de Primaria y Secundaria, los Campus Científicos y el Proyecto ESTALMAT de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, por iniciativa de Miguel de Guzmán. En el caso particular de la educación estadística, la Sociedad de Estadística e Investigación Operativa, los departamentos de Estadística e Investigación Operativa de las universidades y el Instituto Nacional de Estadística organizan las competiciones nacionales de la Incubadora de Sondeos y Experimentos, la Olimpiada Estadística a nivel nacional y europeo, la Competición Internacional de Pósteres de la ISLP (International Statistical Literacy Competition). La gran mayoría de estas iniciativas carecen de políticas educativas de respaldo que faciliten: la organización y gestión de las competiciones, el reconocimiento del profesorado y alumnado participante, la coordinación con el personal docente que realiza los enriquecimientos curriculares a nivel escolar y la formación inicial y permanente de dicho profesorado.

En resumen, el análisis de los principios de universalidad, comprensibilidad y equidad en los que se basa el sistema educativo español han sido el hilo conductor para detectar las debilidades, fortalezas y oportunidades de la educación matemática en edades escolares en este siglo XXI. La universalidad de la educación matemática entendida como la alfabetización funcional para la vida ha evolucionado hacia el desarrollo de una alfabetización numérica o cuantitativa y el desarrollo de la competencia matemática. Existe aún la debilidad de considerar que es suficiente la alfabetización funcional del alumnado sin valorar la oportunidad de una educación matemática crítica, intercultural y sostenible. Reincidir en las diferentes reformas educativas en una visión organizativa del currículum marcadamente

disciplinar, atómico y cíclica ha sido la gran debilidad para conseguir la comprensibilidad de las matemáticas en edades escolares por parte todo el alumnado. Metodologías como las tareas auténticas, el aprendizaje basado en proyectos y/o problemas organizadores de un currículum multidisciplinar y fenomenológico se han configurado como fortalezas para innovar tanto a nivel escolar como en la formación inicial y permanente del profesorado. La extensión de puntos fuertes a todo el sistema educativo debe concebirse como una oportunidad para reflexionar sobre qué fenómenos, situaciones y/o problemas pueden ser significativos para el desarrollo de la competencia matemática en edades escolares que asegure una transición continua y sin brechas desde la educación primaria hasta la universidad. La mayor debilidad actual de la educación matemática escolar es la falta de equidad en las oportunidades de una formación matemática permanente, principalmente en el colectivo femenino del alumnado con necesidades educativas específicas, inmigrantes y talento matemático. La oportunidad del desarrollo de políticas educativas que favorezcan la inclusión de este alumnado no es suficiente, si no se definen bajo principios de visibilización histórica de las aportaciones de la mujer a la matemática, se fomenta la orientación escolar hacia las carreras científico-técnicas a partir de la divulgación de los avances matemáticos actuales, se adoptan metodologías multidisciplinarias como CTIM o el aprendizaje basado en problemas o proyectos, se atiende a la diversidad desde perspectivas inclusivas que fomenten una transición continua y sin brechas en la construcción de los conocimientos que suponen la superación de obstáculos, dificultades y bloqueos emocionales y se establecen directrices de formación permanente que coordinen las acciones para el enriquecimiento del currículum de este alumnado a nivel escolar y extraescolar.

Metodologías como las tareas auténticas, el aprendizaje basado en proyectos y/o problemas organizadores de un currículum multidisciplinar y fenomenológico, se han configurado como fortalezas para innovar tanto a nivel escolar como en la formación inicial y permanente del profesorado

## 2. ESTRATEGIAS DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE

### 2.1. El papel de la resolución de problemas: modelización y competencias STEAM

Las exigencias de los desafíos del siglo XXI obligan a la sociedad a afrontar problemas globales en contextos cada vez más complejos y cambiantes. Así, en el mundo actual las habilidades esperadas por la ciudadanía van más allá de los

meros conocimientos y el desarrollo de procedimientos rutinarios. Se demanda, por tanto, que la formación de todos ellos incluya el desarrollo de procesos que les ayuden a resolver problemas promoviendo la adquisición de destrezas tales como la capacidad de análisis, la predicción de consecuencias o el pensamiento crítico. En los últimos años, diferentes informes y políticas educativas han impulsado la integración de disciplinas del ámbito científico tecnológico en una única perspectiva integrada que se denomina STEAM, véase, por ejemplo, el *Informe Eurydice* publicado por la UE (2012).

Esta conceptualización integradora que pone el foco en el aprendizaje comprensivo y aplicado de las matemáticas no es tan reciente como parece. En el prefacio a la primera edición en inglés de su libro *How to solve it*, George Pólya (1945) incide en la importancia de que el profesorado intente, a través de propuestas basadas en la resolución de problemas, **despertar la curiosidad de sus estudiantes y el gusto por el pensamiento independiente**. En efecto, coincidimos con Pólya en que, si el alumnado ve las Matemáticas como una materia que simplemente tiene que superar reproduciendo una serie de procedimientos rutinarios, pierden la oportunidad de descubrir el placer de poner en juego la curiosidad y el razonamiento para llegar a una resolución. Por el contrario, al promover el razonamiento en la resolución de tareas no rutinarias, se puede conseguir que el estudiantado dé sentido a los contenidos matemáticos que adquieren, desarrollando lo que se suele denominar pensamiento matemático (Schoenfeld, 1992).

Esta interpretación de la educación matemática ha ganado importancia a nivel internacional conforme la comunidad matemática se ha ido implicando en el desarrollo curricular de los diferentes países. Así, por ejemplo, el currículo en vigor actualmente en España incide en la importancia de la resolución de problemas:

La resolución de problemas se convierte en objetivo principal. El proceso debe cultivar la habilidad para entender diferentes planteamientos e implementar planes prácticos, revisar los procedimientos de búsqueda de soluciones y plantear aplicaciones del conocimiento y las habilidades matemáticas a diversas situaciones de la vida real; sobre todo, se debe fomentar la autonomía para establecer hipótesis y contrastarlas, y para diseñar diferentes estrategias de resolución o extrapolar los resultados obtenidos a situaciones análogas (LOMCE, RD1105/2014, p. 381).

Desde esta perspectiva, se pretende que el alumnado adquiera los conocimientos matemáticos entendidos como herramientas para el razonamiento y, por ende, para el desarrollo de una ciudadanía libre, crítica y competente.

Durante los últimos 40 años, se han desarrollado numerosos programas de investigaciones centrados en la resolución de problemas en la enseñanza de las matemáticas. Estas investigaciones han fructificado en diferentes reformas educativas. De esta forma, tal y como indica Schoenfeld (1985), las críticas a las reformas derivadas de la Matemática Moderna fueron importantes para poner el foco en el uso de la resolución de problemas en la enseñanza y el aprendizaje de las matemáticas. En sus trabajos sobre resolución de problemas, Pólya (1945) se basa en su propia experiencia como matemático para reflexionar sobre el proceso de resolución de un problema. De esta manera propone un marco para describir, en cuatro etapas, el proceso de resolución de una tarea no rutinaria (comprensión, planificación, puesta en marcha del plan y validación). En 1985, Schoenfeld implementó una investigación centrada en analizar el desarrollo del pensamiento matemático en el alumnado. El objetivo de esta era caracterizar el significado de pensamiento matemático y documentar cómo el estudiantado adquiere la competencia en resolución de problemas. En base a este trabajo, propuso un marco de análisis que constaba de cuatro dimensiones: el uso de recursos matemáticos, el uso de estrategias heurísticas, las estrategias ligadas a la metacognición y las ligadas a la resolución de problemas.

En el ámbito español también se han realizado estudios en este sentido. Desde comienzos del siglo XX, se inicia la tradición heurística en el trabajo de Puig Adam, *Didáctica de la Matemática Eurística* (Puig Adam, 1956) así como en la serie de libros que este escribió junto a Julio Rey Pastor. También conviene recordar la labor realizada durante los últimos años de la dictadura y los años de la transición por grupos de profesorado que desarrollaron materiales enfocados a enseñar los conceptos y procesos matemáticos a través de la resolución de problemas (tal y como se recoge en Puig, 2008). En este sentido, destaca el proyecto curricular realizado por el Grupo Cero para el alumnado de entre 12 y 16 años (Grupo Cero, 1984). Entre los trabajos de investigación relativos a la resolución de problemas, conviene recordar la aportación de Puig y Cerdán (1995) en relación con la interpretación y clasificación de problemas aritméticos escolares. También conviene destacar el papel de las nuevas tecnologías tanto en las investigaciones como en las propuestas metodológicas ligadas a la resolución de problemas. Por ejemplo, en los trabajos de Arnau y colaboradores (Arnau,

Arevalillo y González-Calero, 2014; González-Calero et al. 2015), se presenta y analiza la implementación de un sistema tutorial inteligente para el aprendizaje de resolución de problemas. Estos sistemas resultan adecuados ya que predicen la estrategia escogida por el alumnado y son capaces de ofrecer ayuda personalizada en función de esta. Además, desde el punto de vista de la investigación, el entorno tecnológico resulta idóneo para recopilar datos para su posterior análisis.

Recogiendo estas tendencias marcadas por la investigación dentro de un contexto educativo en el que se potencia el desarrollo de competencias desde la perspectiva STEAM, las instituciones y las políticas educativas vienen apoyando durante los últimos años una enseñanza de las matemáticas donde se concede relevancia a la resolución de problemas contextualizados. En Estados Unidos, la National Council of Teachers of Mathematics (NCTM, 2000) propuso un conjunto de estándares básicos para desarrollar una educación matemática donde la resolución de problemas tiene un papel fundamental como proceso transversal a los contenidos. En Europa se desarrolló el proyecto Wiskobas (Treffers, 1987), que buscó modernizar la educación matemática en los Países Bajos siguiendo los principios de la Educación Matemática Realista (EMR, Van den Heuvel-Panhuizen y Drijvers, 2014). Esta corriente, basada en los trabajos de Freudenthal (véase, por ejemplo, Freudenthal, 1991), interpreta las matemáticas como una actividad humana que es útil para comprender el mundo. De esta forma, la EMR propone que las matemáticas escolares no se aprendan como un sistema cerrado, sino como una actividad de matematización. Esta debe entenderse de forma dual, ya que integra dos procesos (Treffers, 1987): i) uno de matematización horizontal, en el que el alumnado utiliza las matemáticas para organizar situaciones y aplicarlas a problemas planteados en contextos extramatemáticos. ii) un segundo proceso de matematización vertical, en el que se establecen relaciones entre diferentes contenidos para generar conocimiento. Así, la actividad de matematización propuesta por la EMR apuesta por un desarrollo de destrezas orientadas a la resolución de problemas contextualizados. En este sentido, debe mencionarse también la propuesta desarrollada en el proyecto KOM para la mejora de la educación matemática en Dinamarca (Niss y Højgaard, 2011) y que ha sido adaptada para definir el marco teórico asociado a las pruebas de evaluación PISA (OECD, 2013). Bajo esta perspectiva, el aprendizaje matemático se apoya en ocho destrezas que son transversales a los contenidos y cubren desde el razonamiento y el trabajo con lenguaje formal hasta la resolución de problemas

y la modelización. Estas destrezas, activadas de forma integrada, permiten utilizar un conocimiento matemático experto para resolver problemas planteados en diferentes contextos.

Las aportaciones de propuestas como la EMR y el proyecto KOM ponen de manifiesto que la introducción de problemas contextualizados en el aula va acompañada de cierta reinterpretación de la enseñanza de las matemáticas. Como señala Niss (1999), no hay una transferencia automática entre un conocimiento matemático fuerte y la habilidad de resolver situaciones no rutinarias. Por tanto, uno de los intereses de trabajar en las aulas problemas contextualizados radica en la importancia de introducir en el aula las aplicaciones de las matemáticas y la modelización. El interés de trabajar esta última de forma específica en el aula ya ha sido manifestado por los investigadores a lo largo de los años. En efecto, ya en los inicios del siglo XX, Felix Klein, primer presidente del ICMI (International Commission on Mathematical Instruction), introdujo el debate sobre el imprescindible equilibrio entre matemática pura y aplicada en la escuela. A finales de los años 60 del siglo pasado, se volvió a reivindicar la importancia de centrar la enseñanza de las matemáticas en sus aplicaciones durante el simposio “Why to teach mathematics as to be useful”, organizado por Freudenthal en 1968 (Pollak, 1968) que, de alguna forma, marcó el origen de la corriente de la EMR antes mencionada. Durante los treinta años siguientes, se desarrollaron diversos enfoques a nivel internacional sobre la enseñanza de las matemáticas basada en la modelización y las aplicaciones, donde se distinguen diferentes objetivos didácticos, descritos en el trabajo de Blum y Niss (1991), que aportan argumentos relativos a la importancia de la modelización en la enseñanza. Estos enfoques se basan en diferentes perspectivas sobre la modelización y, aunque existen diferencias entre las distintas interpretaciones, todas comparten elementos comunes a la hora de entender el proceso de modelización. En particular, los investigadores e investigadoras en educación matemática han consensuado considerar la modelización como un proceso basado en un conjunto de etapas que conforman el ciclo de modelización (puede verse una síntesis de algunas de ellas en el trabajo de Borromeo-Ferri, 2006). En la práctica, este ciclo puede no seguirse de forma lineal (Ärlebäck, 2009), pero la interpretación procesual de la modelización proporciona acciones que el alumnado lleva a cabo cuando aborda el proceso de modelización y, en consecuencia, da información sobre qué tipo de tareas son adecuadas para desarrollar las destrezas de modelización (véanse en este sentido Borromeo-Ferri, 2018 o Lesh et al., 2000).

En España se han recogido algunos de los enfoques sobre modelización para la investigación y la puesta en práctica de experiencias sobre ello en diferentes niveles educativos. Destaca en este sentido la aportación desde la perspectiva de la Teoría Antropológica de lo Didáctico, que interpreta la matemática, y por tanto la modelización, como una actividad humana (Chevallard, Bosch y Gascón, 1997). Este marco teórico permite analizar el proceso de desarrollo y uso de un modelo para el diseño de propuestas didácticas sobre modelización en formación de profesorado (Barquero et al. 2015), educación secundaria (García et al, 2006) y nivel universitario (Barquero, 2015). También en educación superior y ya desde una perspectiva STEAM (Pérez et al., 1999) hacen una propuesta didáctica basada en la modelización para trabajar de forma integrada las matemáticas y la física en el primer curso de titulaciones de ingeniería. Al nivel de la educación secundaria, existen experiencias e investigaciones orientadas a facilitar la labor del profesorado para trabajar la modelización. En este sentido, Cabassut y Ferrando (2017) investigan las dificultades que presenta el profesorado para trabajar la modelización en el aula en comparación con su homólogo francés. En cuanto a la puesta en práctica de experiencias de aula, Bua (2015) analiza una intervención didáctica basada en la modelización de diferentes fenómenos físicos para introducir el trabajo con funciones. Gallart (2016), por su parte, investiga la metodología idónea para trabajar tareas de modelización diseñadas desde diferentes perspectivas, con el fin de conocer la importancia de la modelización en el desarrollo matemático del alumnado de secundaria. Por su parte, Ortega-Pons (2018) observa la utilidad potencial de las herramientas tecnológicas para apoyar el aprendizaje de la modelización basada en funciones.

Es destacable que en cualquier trabajo basado en modelización matemática, el diseño de las tareas que se proponen para activar el proceso juega un papel fundamental, por lo que el análisis de cierto tipo de tareas ha resultado relevante para algunas aportaciones hechas por la investigación. En particular, los problemas de Fermi, consistentes en preguntas abiertas que requieren hacer hipótesis y cálculos aproximados sencillos para estimar cantidades relevantes, han sido objeto de estudio por diferentes autores. Albarracín y Gorgorió (2014) constatan la potencialidad de este tipo de problemas para discutir estrategias de resolución de problemas en educación secundaria. Del mismo modo, Ferrando et. al. (2017) observan que el análisis de resoluciones de un tipo particular de estos problemas pone de manifiesto diferencias en los modelos producidos por alumnado con distintos niveles de experiencia en modelización. En todos los

casos se constata la importancia del trabajo en el aula para desarrollar destrezas de modelización.

En conclusión, se observa que en un contexto social donde las exigencias de la ciudadanía actual y el desarrollo integrado de las disciplinas científico-técnicas, el desarrollo de las competencias STEAM deben ser parte de la formación del alumnado en las enseñanzas obligatorias y bachillerato. Por tanto, la educación matemática tiene el compromiso de apostar por modelos formativos que apoyen una enseñanza matemática compatible con la interdisciplinaridad, de forma que el conocimiento matemático surja como respuesta a problemas que se plantean asociados a las ciencias, la tecnología y la ingeniería. La modelización es una destreza inherente a este tipo de modelos educativos, por lo que debe promocionarse el trabajo con tareas de modelización en las aulas de las enseñanzas obligatorias. En este sentido, surge el reto de impulsar el desarrollo de la competencia matemática desde metodologías que impulsen la resolución de problemas, de manera que se pongan de manifiesto tanto la aplicabilidad de los contenidos matemáticos en el ámbito STEAM como el interés de los procesos característicos de las matemáticas. Este texto proporciona ejemplos de cómo se está trabajando en este sentido.

## 2.2. Matemáticas y TIC

El impacto de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en la sociedad actual es evidente, ya que la tecnología aporta elementos sustantivos inherentes al desarrollo en todas las esferas de la vida. Las últimas décadas están marcadas por el uso extensivo de ordenadores y la aparición de internet, así como la irrupción de los dispositivos móviles y los servicios en la nube. Es de esperar que en un futuro próximo esta evolución digital no se detenga y aparezcan nuevas aplicaciones basadas en desarrollos como la inteligencia artificial, el análisis de *big data*, la realidad virtual o el internet de las cosas. La educación y, específicamente, el aprendizaje de las matemáticas, no pueden ser ajenas a los cambios que nos conducen hacia una sociedad más tecnificada y digitalizada.

El aprendizaje de las matemáticas no puede ser ajeno a los cambios que nos conducen hacia una sociedad más tecnificada y digitalizada

En este sentido, la competencia matemática de la ciudadanía puede ser una de las claves que les permita adaptarse con éxito a las nuevas demandas que plantea

una sociedad altamente tecnificada. Las matemáticas ofrecen una forma de interpretar el mundo que nos rodea abstrayendo la estructura conceptual detrás de las tecnologías y permite interactuar con ellas desde una perspectiva de dominio de relaciones y procesos necesarios para su uso. Los desarrollos tecnológicos actuales han evolucionado hacia interfaces muy asequibles para los usuarios y usuarias, con lo que es común confundir usabilidad con dominio y **se extiende la creencia de que el alumnado de las nuevas generaciones puede extraer todo el provecho de la tecnología sin una base de conocimiento adecuada**. Uno de los retos actuales desde la perspectiva de la educación matemática es proporcionar al estudiantado un conjunto de conocimientos matemáticos que den soporte a la interacción con las tecnologías para permitir un desarrollo completo de las competencias digitales dentro de una formación integral del alumnado en tanto que parte de la ciudadanía.

A partir de este proceso de desarrollo tecnológico, en las aulas han irrumpido las tecnologías del aprendizaje y el conocimiento (TAC) a una velocidad vertiginosa. La rapidez en el cambio no permite en todos los casos habilitar los espacios de reflexión adecuados, iniciando una dinámica en la que la novedad es el principal valor de las TAC adoptadas por centros o profesorado, dejando en segundo término la potencialidad didáctica real de cada propuesta. Aun en una sociedad tan tecnificada como la nuestra, existe una percepción popular de que las matemáticas son una disciplina abstracta por naturaleza y, en consecuencia, desconectada de la realidad. Evidentemente, esta idea puede estar basada en algunas de las características de las matemáticas como conjunto de conocimientos, pero es necesario distinguir la propia naturaleza de la disciplina de la forma en la que es aprendida. Por este motivo, la irrupción de las TAC en las aulas no debe sustituir a aquellas propuestas educativas ya contrastadas que inciden directamente en el aprendizaje sostenido de las matemáticas.

Ya Piaget (1952) sugería que los niños y niñas en sus primeras etapas no poseen la madurez mental suficiente para comprender los conceptos matemáticos abstractos presentados exclusivamente a partir de palabras o símbolos. Para que se produzca el aprendizaje deseado, es necesario que el alumnado de las primeras etapas educativas acumule experiencias con objetos, materiales manipulativos, herramientas o dibujos, ya que su principal fuente de aprendizaje proviene de sus capacidades perceptivas. Diversos estudios muestran que los materiales manipulativos benefician el aprendizaje de las matemáticas bajo las condiciones adecuadas, eligiendo los materiales pertinentes para cada tipo de contenido a

trabajar e incorporándolos al trabajo de aula de forma sostenida en el tiempo y no anecdóticamente (Carbonneau, Marley y Selig, 2013).

La eficacia para la enseñanza de las matemáticas de los materiales manipulativos didácticos viene sostenida en el tiempo por un gran número de estudios recogidos en diversos metaanálisis (Sowell, 1989; Carbonneau, Marley y Selig, 2013). Por ello, es necesario que incluso en tiempos digitales, el alumnado empiece a aprender matemáticas en entornos analógicos, para que pueda aprovechar con éxito los recursos cognitivos de los que dispone. En consecuencia, se debe seguir potenciando que tenga a su alcance materiales manipulativos y herramientas tangibles que permitan establecer las bases de los conocimientos a desarrollar. Materiales como las regletas Cuisenaire, la regla de medir o el compás deben estar presentes en las aulas y el profesorado debe conocerlos y poder basar sus propuestas didácticas en ellos. Una de las tecnologías bien establecidas en las aulas es la calculadora, que se puede usar directamente en la resolución de problemas y para revisar errores, pero que también permite otros usos como explorar relaciones numéricas. Como toda herramienta, es indispensable aprender a utilizarla para que el alumnado no la considere un sustituto del razonamiento matemático, pero las posibilidades que ofrece para agilizar procesos de cálculo en las aulas y para que los alumnos puedan centrarse en la comprensión de los nuevos conceptos siguen siendo relevantes en la actualidad.

A medida que el alumnado gana en capacidad de abstracción, la potencialidad didáctica de las TAC es más clara. En múltiples casos, los recursos digitales proporcionan representaciones tan significativas para el estudiantado como la que proporcionan los recursos manipulativos (Yerushalmy, 2005). La investigación indica que las representaciones basadas en la tecnología pueden ser incluso más manejables, despojadas de detalles superfluos y flexibles de sus contrapartidas físicas.

La naturaleza de las TAC es muy variada. Disponemos de múltiples dispositivos digitales como tabletas, cámaras fotográficas o sensores, pero también programas como simuladores, entornos geométricos, programas de representación gráfica de funciones, videojuegos o editores de mapas conceptuales. Esta variedad dificulta el análisis del impacto de cada una de estas tecnologías en las aulas, así como supone un impedimento para el conocimiento experto del profesorado, ya que el uso de tecnologías en las aulas requiere de un conocimiento didáctico que va más allá del conocimiento de su simple uso.

Proporcionar una experiencia significativa de razonamiento deductivo para el alumnado es un reto. Diversas investigaciones han documentado que este no ve por sí mismo la necesidad de trabajar en su razonamiento matemático, ya sea por la dificultad de utilizar pruebas de tipo deductivo o que no distinguen entre diferentes formas de razonamiento matemático, como pueden ser la explicación, la argumentación, la verificación o la prueba (Dreyfus, 1999). Los motivos de estas dificultades se basan en la necesidad de coordinar diversas competencias que son difíciles de dominar de forma individual. Por ello, disponer de entornos como los que proponen las TAC permite agilizar los procesos matemáticos y evidenciar las consecuencias de las acciones matemáticas, fomentando la reflexión sobre el razonamiento.

Un caso paradigmático lo encontramos en el campo de la geometría. Desde la década de 1980 existen programas informáticos que permiten trabajar con construcciones geométricas elaboradas por el alumnado y que pueden ser manipuladas para favorecer su comprensión. Los programas de geometría dinámica permiten observar las relaciones que se establecen entre los diferentes elementos que conforman una construcción geométrica a partir de la experimentación directa y superan a las representaciones físicas a partir de la interacción que permiten con los constructos que pueden representar. Los primeros programas de geometría dinámica (Cabri, Sketchpad, Cinderella...) sentaron las bases y actualmente encontramos programas muy polivalentes como GeoGebra, en el que la interacción del estudiante puede cubrir elementos geométricos, algebraicos y relaciones funcionales. Estas propuestas que engloban distintos contenidos matemáticos presentan ventajas desde la perspectiva de la formación del personal docente, ya que una misma herramienta puede ser utilizada con propósitos distintos, pero también para la autorregulación del aprendizaje del propio alumnado, que puede evaluar sus propios progresos. El caso de GeoGebra, que ha permitido la creación de una amplia comunidad de usuarios entre el profesorado y los investigadores educativos, y para el que existe base científica para consolidar su uso en las aulas, es el ejemplo de la forma en la que la comunidad educativa debería dirigir esfuerzos para validar las TAC a adoptar en el futuro y permitir que sean accesibles al máximo del alumnado posible.

El escenario actual respecto a la relación de la ciudadanía con la tecnología demanda que el estudiantado tome también el papel de creador. La programación y el pensamiento computacional son clave para satisfacer las necesidades

de una sociedad digital. Es necesario especificar que no todo el alumnado debe dominar la programación como técnica orientada al mercado laboral, pero sus fundamentos comparten características que merecen atención por ellas mismas. De hecho, la computación presenta aspectos comunes con el aprendizaje de las matemáticas en lo que a las exigencias de razonamiento y las competencias de resolución de problemas se refiere. El dominio de los fundamentos computacionales puede reforzar algunos aprendizajes matemáticos, como la reformulación de problemas para que puedan ser abordados usando un ordenador, representar datos de forma abstracta, automatizar el pensamiento algorítmico e identificar, analizar e implementar posibles soluciones para conseguir la más eficiente (ISTE, 2016). Solucionar problemas con ayuda del ordenador es un ejercicio que permite adquirir la costumbre de enfrentarse a problemas predefinidos de una forma rigurosa y sistemática. No obstante, las competencias en computación podrían permitir la inclusión de conocimientos matemáticos que no se encuentran en las etapas de educación obligatoria, como la resolución de ecuaciones sin métodos algebraicos de resolución concretos a partir del cálculo numérico.

Solucionar problemas con ayuda del ordenador es un ejercicio que permite adquirir la costumbre de enfrentarse a problemas predefinidos de una forma rigurosa y sistemática

Para introducir la programación, Scratch se presenta como una herramienta amigable que ha mostrado su efectividad (Kim, Choi, Han y So, 2012), que puede ser utilizada por alumnado de toda la educación primaria y específicamente diseñada para que el estudiantado pueda familiarizarse con actividades de razonamiento computacional desde edades tempranas. Scratch se diseñó inicialmente para permitir que el alumnado pudiera diseñar sus propios videojuegos, pero se ha usado para trabajar aquellos contenidos matemáticos que aparecen de forma natural al definir los objetos y el tipo de interacciones que conformarán el videojuego. Desde el punto de vista de la formación de maestros y maestras de educación primaria, se da la paradoja de que los contenidos de computación no han estado presentes en sus planes de estudio. Sin embargo, la realidad es que la sociedad demanda que el alumnado esté preparado para los nuevos retos que deparan los tiempos futuros, y eso incluye desarrollar competencias relacionadas con el pensamiento computacional.

### 2.3. Evaluación de las matemáticas en las enseñanzas obligatorias y el bachillerato

La evaluación es una actividad de especial relevancia para la educación matemática en las enseñanzas preuniversitarias, debido tanto a la complejidad que entraña el proceso de evaluación como a las repercusiones que involucran sus resultados. Sin embargo, a pesar de su interés y potencialidad como herramienta de mejora, el interés por la evaluación en educación matemática es relativamente reciente. En un estudio de la Comisión Internacional sobre Instrucción Matemática (ICMI study), Niss (1993) señaló la brecha existente entre la innovación sobre metodologías de enseñanza en contraste con las prácticas de evaluación, que se mantenían en planteamientos tradicionales en los años noventa. No obstante, a lo largo de las tres últimas décadas se ha ido prestando atención creciente a la evaluación en el ámbito de la educación matemática, debido principalmente a la entrada en escena de estudios comparativos a nivel internacional (pruebas PISA o TIMSS) y la progresiva instauración de pruebas de evaluación a nivel autonómico (reválidas), cuyos resultados cada vez alcanzan mayor repercusión. Esta importancia que se concede a los resultados de pruebas diagnósticas ha llevado a los diferentes agentes educativos a interesarse por la evaluación, dando lugar a numerosos trabajos que la abordan desde diferentes perspectivas (por ejemplo, Niss y Højgaard, 2011; NCTM, 2000; Pajares, Sanz y Rico, 2000).

Antes de enfocar la discusión sobre el aula de Matemáticas, es procedente reflexionar sobre el significado del término evaluación. La UNESCO (2015) la define como:

Una valoración, lo más sistemática e imparcial posible, de una actividad, proyecto, [...]. Incide principalmente sobre los logros esperados y alcanzados [...] a fin de entender los logros o la ausencia de éstos [...], facilitando la incorporación oportuna de los hallazgos, recomendaciones y lecciones en los procesos de toma de decisiones (pp. 4-5).

Esta concepción pone de manifiesto varias características del proceso de evaluación que deben tenerse presentes en educación matemática:

- a) **Evaluar implica valorar.** La evaluación puede no ser objetiva debido a la complejidad de actores e interacciones involucrados en el aprendizaje del alumnado de las enseñanzas obligatorias y el bachillerato. Sin embargo, la evaluación debe buscar la imparcialidad y basarse en evidencias, lo que

hace necesarios el juicio crítico y el rigor del evaluador. En particular, el profesorado de Matemáticas debe estar formado para aplicar una evaluación de calidad.

- b) Debe **determinarse con precisión el objeto de la evaluación**: una actividad, un proyecto, etc. En los procesos de enseñanza y aprendizaje intervienen gran cantidad de agentes y factores y una valoración adecuada de dichos procesos debe cubrir todos los elementos que intervienen en ellos (Rico, 1990). Es habitual, sin embargo, dirigir la evaluación sobre los dos agentes principales: el alumnado, a través de los resultados de su aprendizaje, y el profesorado, a través de su práctica de enseñanza (Niss, 1993; Van den Heuvel-Panhuizen, 1996). En consecuencia, la evaluación en Matemáticas debe atender al menos a estos dos elementos.
- c) La evaluación está **vinculada a la consecución de logros**, por lo que su éxito (eficacia y fiabilidad) depende de la cantidad y la claridad con la que estén determinados esos logros. En las enseñanzas preuniversitarias, lo hacen por la normativa curricular.
- d) El proceso de evaluación surge con un propósito que lo genera. En este sentido, sí hay consenso en que esta intención implica la **mejora del aprendizaje de las matemáticas** (Norverdt y Buchholtz, 2018).

Esta reflexión permite concluir que la evaluación en la educación preuniversitaria es una práctica orientada a la mejora del aprendizaje matemático, que está condicionado por el currículo y debe atender tanto a los resultados del mismo como a las prácticas de enseñanza. La presente sección se estructura en torno a la discusión de cuestiones de interés sobre la evaluación en el aula de Matemáticas teniendo en cuenta los siguientes elementos: en primer lugar, se analiza la evaluación de los resultados de aprendizaje del alumnado, desde la conceptualización y evaluación de la competencia matemática hasta la problemática que se plantea en el modelo basado en la evaluación de competencias básicas en el ámbito preuniversitario. En segundo lugar, se aborda la evaluación de la labor profesional del docente, haciendo hincapié en la importancia de la reflexión crítica del docente y la aportación de los diferentes grupos de interés y de algunas herramientas de la investigación educativa. Finalmente, se extraen conclusiones y se formulan los retos a conseguir para potenciar el uso de la evaluación como una herramienta de mejora para la educación matemática.

### *2.3.1. Evaluación de resultados de aprendizaje*

La valoración de los resultados de aprendizaje del alumnado es la práctica de evaluación más común en el aula de Matemáticas y, como tal, es objeto continuo de estudio por parte del personal educador e investigador. En este contexto, su valor como herramienta para la mejora del aprendizaje debe conferir un carácter esencialmente formativo a la evaluación, de manera que esta quede integrada en las prácticas de enseñanza como parte de la actividad docente (NCTM, 2000). De este modo, de acuerdo con Freudenthal (1985), todo el proceso educativo debe entenderse como un proceso de evaluación, que aporte valor no solo por la información retrospectiva que proporciona (¿qué han aprendido los estudiantes?), sino por su potencialidad prospectiva (¿qué pueden aprender a partir de ahora?, Van den Heuvel-Panhuizen, 1996).

En el contexto educativo en España, el coste formativo de la evaluación debe concebirse desde su aporte al desarrollo competencial. En efecto, el Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato orienta el aprendizaje de los estudiantes en el periodo preuniversitario a la adquisición y desarrollo de un conjunto de competencias clave. Este modelo, que se fundamenta en el “saber hacer” en situaciones contextualizadas, obliga a reorientar la evaluación hacia una valoración sobre el grado de adquisición y desarrollo de dichas competencias. Para el profesorado de Matemáticas, esta situación genera un conflicto doble.

- a) En primer lugar está la interpretación de la competencia matemática. Atendiendo al Real Decreto 1105/2014, esta competencia es:

La habilidad para desarrollar y aplicar el razonamiento matemático con el fin de resolver problemas diversos en situaciones cotidianas; en concreto, engloba los siguientes aspectos y facetas: pensar, modelar y razonar de forma matemática, plantear y resolver problemas, representar entidades matemáticas, utilizar los símbolos matemáticos, comunicarse con las Matemáticas y sobre las Matemáticas, y utilizar ayudas y herramientas tecnológicas (p. 389).

Esta definición incluye capacidades matemáticas como modelización o razonamiento, entre otras, que añaden al extenso currículo un nuevo bloque de contenidos.

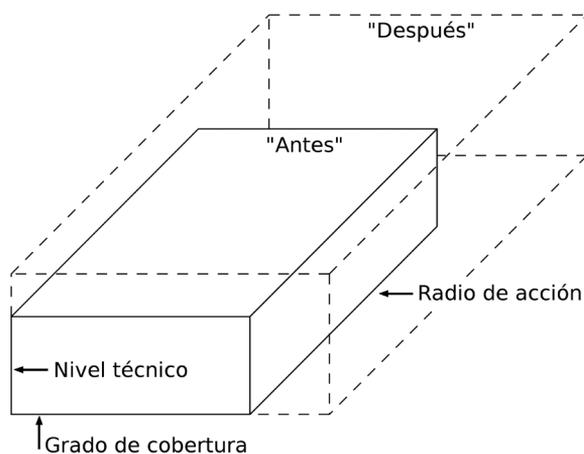
- b) En segundo lugar está el **contraste entre el carácter global de la evaluación por competencias**, basadas en conocimiento interdisciplinar presentado en contexto, **frente al carácter local de la evaluación** que se puede desarrollar dentro de una única asignatura. Este contraste queda potenciado por la propia normativa curricular que, paralelamente al modelo por competencias, propone un conjunto de estándares de aprendizaje que no solo se relacionan con un único contenido, sino que atomizan más aún los focos de la evaluación.

En síntesis, el modelo por competencias plantea interrogantes sobre evaluación que debe abordar el profesorado de Matemáticas: ¿cómo debe entenderse la competencia matemática para la evaluación en el aula? ¿Cómo puede el profesorado de Matemáticas evaluar todas las competencias clave? ¿Cómo gestionar instrumentos y procedimientos de evaluación que consideren simultáneamente estándares y competencias? A continuación, se proporcionan ideas para responder a estas cuestiones desde una perspectiva formativa.

### *¿Cómo debe entenderse la competencia matemática para la evaluación en el aula?*

La noción de competencia matemática propuesta en el currículo, basada en el marco PISA 2012 (OCDE, 2013), introduce procesos y capacidades matemáticas transversales a los conceptos matemáticos escolares, por lo que su evaluación no puede concebirse como un procedimiento de valoración de conocimientos sobre los contenidos, sino que debe incluir expectativas de aprendizaje vinculadas a acciones como “*pensar, modelar y razonar de forma matemática*”. La conceptualización de dichas expectativas de aprendizaje ha sido analizada desde diferentes enfoques a nivel nacional y europeo, dando lugar a diferentes propuestas que facilitan el abordaje de la evaluación de la competencia matemática.

Figura 3. Visualización del progreso en una subcompetencia según la propuesta del proyecto KOM



Fuente: Niss y Højgaard, 2011.

Una de las más destacadas es la **propuesta del proyecto KOM** (Niss y Højgaard, 2011), que se basa en **interpretar la competencia matemática en clave de subcompetencias<sup>7</sup> transversales** a los contenidos: representación, uso de símbolos y formalismo matemático, comunicación, uso de herramientas, razonamiento, modelización, planteamiento de problemas y pensamiento matemático. Estas subcompetencias deben entenderse como una potencialidad para actuar de forma eficaz, por lo que la evidencia de poseer una de ellas se observa cuando el estudiantado desarrolla tareas matemáticas complejas (resolver un problema, construir o entender un modelo matemático o comprender un razonamiento) teniendo en cuenta que, en general, una tarea activa diferentes subcompetencias. Se asume también que cada una se evalúa de forma independiente a las demás y que debe prestarse atención a la progresión en el desempeño de la misma. De este modo, el diseño de instrumentos de evaluación de una subcompetencia consiste en la búsqueda de tareas que la activen, mientras que el procedimiento con-

<sup>7</sup> Niss y Højgaard (2011) utilizan *competence* para hablar de la competencia matemática y *competency* para referirse a destrezas como la representación o modelización. Se ha optado por traducir este segundo término como "subcompetencia" para enfatizar que son destrezas más simples que componen la competencia matemática.

siste en valorar el grado de desarrollo que ha alcanzado cada alumno o alumna. Para ello, el proyecto KOM considera tres dimensiones cuantificables:

- Grado de cobertura, que se refiere a la diversidad de tareas que trabajan la subcompetencia que un estudiante es capaz de resolver.
- Radio de acción o diversidad de contextos en los que el alumnado aplica la subcompetencia.
- Nivel técnico o grado de dificultad de las tareas que activan la competencia y el estudiantado puede resolver.

La representación tridimensional del desempeño en estas subcompetencias antes y después de la instrucción matemática permite visualizar la evolución de un estudiante (figura 3). Finalmente, para establecer una calificación para una subcompetencia, se propone calcular el “volumen” de la misma multiplicando las tres dimensiones asociadas. De esta forma, un buen desempeño en una dimensión puede contrarrestar mayores dificultades en las demás dentro de la evaluación de una subcompetencia. En conjunto, la evaluación de todas las subcompetencias da información completa sobre el grado de desarrollo matemático de un alumno o alumna.

Una segunda propuesta de relevancia para evaluar la competencia matemática en el contexto europeo es la que surgió de la perspectiva de la EMR (Van den Heuvel-Panhuizen y Drijvers, 2014). Este enfoque contempla el trabajo matemático como una actividad de matematización, por lo que interpreta la evaluación de la competencia matemática como una valoración de la capacidad para matematizar en situaciones contextualizadas. De esta forma, la EMR apuesta por tareas de evaluación que hagan visible la capacidad de matematización. Las tareas apropiadas para este fin deben estar:

- Presentadas en contextos que inviten al alumnado a usar las matemáticas para pensar dentro de dichos contextos (Van den Heuvel-Panhuizen, 1996).
- Formuladas de manera que supongan un desafío en lugar de una prescripción (Gravemeijer, 1982).

En este sentido, se recomiendan las tareas de pregunta abierta, ya que permiten (e invitan) al alumnado a hacer todo lo que es posible, de manera que la evaluación suponga información útil sobre qué se puede aprender. La EMR confiere asimismo prioridad a la labor de observación del profesorado como herramienta efectiva de evaluación.

Una tercera aproximación a la evaluación de la competencia matemática se fundamenta en el **proceso de modelización**. Este enfoque interpreta la aplicación de “razonamiento matemático para resolver problemas contextualizados”, que señala el Real Decreto 1105/2014, como el desarrollo de diferentes actividades relacionadas con la asociación de ideas matemáticas a contextos extramatemáticos, la extracción de conclusiones en dichos contextos y la interpretación y evaluación de estas conclusiones. Bajo esta perspectiva, los instrumentos de recogida de información para la evaluación se construyen a partir de tareas de modelización (Gallart, 2016, propuso una revisión de diferentes enfoques al respecto). En cuanto al procedimiento de evaluación, existen diferentes focos de atención:

- En el contexto norteamericano, la evaluación está más orientada a valorar el producto final de la modelización. Un ejemplo de instrumento que sigue este planteamiento es el constituido por las guías de garantía de calidad (Quality Assurance Guide), que proponen evaluar modelos matemáticos a partir de indicadores basados en su grado de adecuación al problema propuesto, su potencialidad para ser generalizado y sus posibles reutilizaciones para otras situaciones (véase Lesh y Clarke, 2000).
- En el contexto europeo, se concede mayor relevancia al proceso de modelización. En este sentido, el proyecto Learning and Education in and through Modelling and Applications (LEMA, véase Maaß y Gurlitt, 2010) propuso una rúbrica en torno a cinco categorías, donde cuatro de ellas valoran las fases del proceso de modelización (establecer el modelo, trabajar con precisión, interpretar, validar y reflexionar). Por su parte, Borromeo-Ferri (2018) planteó la evaluación en torno a las siete fases del ciclo completo de modelización (comprensión de la tarea, simplificación / estructuración, matematización, trabajo matemático, interpretación, validación y comunicación del modelo), que da cuenta del conjunto de actividades que debe afrontar el alumnado a la hora de aplicar las matemáticas para dar respuesta a situaciones contextualizadas.

*¿Cómo puede el profesorado de Matemáticas evaluar todas las competencias clave? ¿Cómo gestionar instrumentos y procedimientos de evaluación que consideren simultáneamente estándares y competencias?*

La cuestión sobre la potestad del profesorado de Matemáticas para evaluar las competencias clave en las enseñanzas preuniversitarias es una cuestión contro-

vertida, que supone un desafío compartido con los docentes del resto de disciplinas. En este sentido, la normativa curricular actual no proporciona pautas claras de evaluación por competencias ni tampoco aporta orientaciones sobre cómo se debe evaluar el uso de conocimientos integrados en situaciones reales con un carácter formativo para el alumnado, orientaciones que serían de interés especialmente en la Educación Secundaria Obligatoria, donde la tendencia a trabajar contenidos por separado es más acusada. El resultado es que se hacen esfuerzos descoordinados para dar respuesta a la necesidad de una evaluación por competencias en un contexto educativo habituado a la evaluación de contenidos.

Figura 4

<b>Criterio de evaluación:</b> C.E.2.14. Observar que en el entorno cercano, hay sucesos imposibles y sucesos que con casi toda seguridad se producen, hacer estimaciones basadas en la experiencia sobre el resultado (posible, imposible) de situaciones sencillas y comprobar dicho resultado.	
<b>Orientaciones y ejemplificaciones:</b> Se pretende evaluar si los niños y las niñas están familiarizados con conceptos y términos básicos sobre el azar: seguro, posible, imposible... y son capaces de hacer estimaciones sobre la posibilidad o imposibilidad de que ocurran sucesos que les son familiares. Puesto que en la mayoría de las ocasiones la probabilidad sirve de sustento a la estadística en la relación de complementariedad que mantienen, buscaremos cauces de aplicación en dicha complementariedad para programar experiencias. En situaciones de juego organizado para el tiempo escolar, los juegos de azar nos brindan ejemplificaciones de iniciación y a acercamiento a la adquisición de estos recursos.	
<b>Objetivos del área para la etapa:</b> O.MAT.6. Interpretar, individualmente o en equipo, los fenómenos ambientales y sociales del entorno más cercano, utilizando técnicas elementales de recogida de datos, representarlos de forma gráfica y numérica y formarse un juicio sobre la misma.	<b>Contenidos: Bloque 5: "Estadística y Probabilidad":</b> 5.6. Sucesos posibles y sucesos imposibles. 5.7. Realización de estimaciones sobre algunos juegos y sucesos. 5.9. Confianza en las propias posibilidades y curiosidad, interés y constancia en la interpretación de datos presentados de forma gráfica. 5.10. Curiosidad por comparar los resultados de las estimaciones y la realidad en algunos sucesos.
<b>Competencias:</b> CMCT, SIEP	<b>Indicadores:</b> MAT.2.14.1. Observa que en el entorno cercano hay sucesos imposibles y sucesos que con casi toda seguridad se producen. (CMCT). MAT.2.14.2. Hacer estimaciones basadas en la experiencia sobre el resultado (posible, imposible) de situaciones sencillas y comprobar dicho resultado. (CMCT, SIEP).

Interpretación del tercer criterio del bloque de estadística dentro del segundo ciclo de primaria, según el desarrollo curricular en Andalucía. CMCT y SIEP se refieren a las competencias clave “Competencia Matemática y Competencias Básicas en Ciencia y Tecnología” y “Sentido de la Iniciativa y Espíritu Emprendedor”, respectivamente.

*Fuente:* Junta de Andalucía (2015).

No obstante, desde algunas autonomías se están estableciendo desarrollos curriculares que clarifican términos respecto a la evaluación por competencias. Un ejemplo de ello es la Orden de 17 de marzo de 2015, por la que se desarrolla el currículo correspondiente a la Educación Primaria en Andalucía. En su Anexo I (véase Junta de Andalucía, 2015), dicha orden desglosa cada criterio de evaluación del currículo básico en tres criterios de evaluación de ciclo. Para cada criterio de evaluación de ciclo, se proporcionan tablas de desarrollo curricular que establecen las competencias clave que se evalúan con este criterio y proporcionan indicadores para observar el desempeño respecto del criterio de evaluación. Por ejemplo, el criterio de evaluación “Hacer estimaciones basadas en la experiencia sobre el resultado (posible, imposible, seguro, más o menos probable) de

situaciones sencillas en las que intervenga el azar y comprobar dicho resultado” (tercero dentro del bloque de estadística y probabilidad) se interpreta y desarrolla para el segundo ciclo de Educación Primaria como se muestra en la figura 4.

Este tipo de desarrollo curricular proporciona orientaciones para que el profesorado interprete el significado de las competencias en relación con el conocimiento matemático. No obstante, asumir de forma normativa estas orientaciones puede limitar el valor formativo de la evaluación. Por ejemplo, el criterio de evaluación 3 del bloque de contenidos de estadística, comentado anteriormente, proporciona una oportunidad para promover la concienciación del alumnado de primaria en relación con los riesgos que conllevan los juegos de apuestas, lo que permitiría evaluar la competencia social y cívica en el aula de Matemáticas. Atender al desarrollo curricular propuesto en la figura 4 no fomenta implementar este trabajo en el aula, ya que dicha competencia no está relacionada *a priori* con el criterio de evaluación. Esta situación ilustra el hecho de que establecer relaciones directas entre criterios de evaluación (o estándares) y competencias contribuye a concretar la evaluación, pero puede perjudicar su carácter formativo, ya que las competencias que se trabajan y pueden evaluarse en el aula de Matemáticas dependen de la metodología empleada (tareas o contextos usados para dichas tareas) más que de las expectativas de aprendizaje matemático de las que se parte.

Se observa, por tanto, que en contextos educativos en los que se trabaje de forma consensuada, el establecimiento de conexiones entre competencias y criterios de evaluación y estándares de diferentes disciplinas puede ser una vía para el desarrollo eficaz de la evaluación por competencias. En este sentido, la coordinación entre el equipo docente resulta esencial, tanto dentro de las Matemáticas como en conexión con profesorado de otras asignaturas, lo que pone el foco de atención sobre los equipos directivos de los diferentes centros. En los últimos años se están haciendo esfuerzos importantes desde los centros educativos a lo largo de todo el territorio nacional para interpretar el sistema de evaluación por competencias, desarrollar herramientas propias (rúbricas, mapas, criterios y procedimientos de calificación, etc.) y aplicarlas con el fin de valorar la adquisición de las competencias básicas en las enseñanzas preuniversitarias. Este trabajo está suponiendo un proceso de adaptación para el profesorado, que se está desarrollando profesionalmente de forma autodidacta en un gran número de casos. Para que este desarrollo profesional respecto a la evaluación por competencias sea generalizado, se demanda formación adecuada que tiene que promoverse tanto

a nivel de la formación continua docente, por parte de los centros responsables de la misma, como a nivel de formación inicial, por parte de los grados de Magisterio y los másteres de Profesorado de Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato.

### *2.3.2. Evaluación de la labor profesional docente*

El profesorado es un participante esencial del aprendizaje en las enseñanzas obligatorias y el bachillerato, por su papel de organizador y gestor de las experiencias de aprendizaje de su alumnado. En un contexto en el que la evaluación se erige como una herramienta útil para la toma de decisiones sobre educación, es necesario considerar las prácticas de enseñanza como objeto de evaluación. En el aula de Matemáticas, es esencialmente una autoevaluación, que se puede efectuar a partir de procedimientos basados en diferentes elementos: indicadores, autoevaluación reflexiva o valoración de los diferentes grupos de interés.

La evaluación basada en indicadores busca la valoración objetiva de la enseñanza basada en evidencias de características deseables. La investigación en educación matemática ha discutido cuáles son esas características, dando lugar a modelos que permiten establecer criterios de calidad de una propuesta didáctica. Un ejemplo de estos modelos es la idoneidad didáctica introducida por Godino (2011), que se estructura en torno a seis tipos de idoneidad: a) **Epistémica**, que observa la representatividad del contenido que se trabaja en el aula respecto al conocimiento matemático que se quiere enseñar; b) **Cognitiva**, que mide la adecuación de la propuesta al conocimiento inicial del alumnado; c) **Interaccional**, referida a la potencialidad de la propuesta para detectar y solventar necesidades formativas; d) **Mediacional**, que atiende a la pertinencia de los recursos necesarios para implementar la propuesta; e) **Afectiva**, que observa el grado de implicación que la instrucción suscitó en el alumnado; y f) **Ecológica**, relacionada con la integración en el contexto educativo en el que se implementa. Estas seis dimensiones dan cuenta de los diferentes focos de atención a los que se puede atender para la toma de decisiones sobre la implementación de una unidad didáctica. Puede verse un ejemplo práctico de evaluación basada en la idoneidad didáctica de una propuesta para la Educación Secundaria Obligatoria en el trabajo de Beltrán-Pellicer (2015).

Por otra parte, la autoevaluación reflexiva es un recurso útil para el profesorado de Matemáticas, no solo por su valor a la hora de tomar decisiones sobre

la docencia, sino por su poder formativo para el propio personal docente. Las situaciones de aprendizaje en el aula de Matemáticas suelen generar situaciones conflictivas, y el profesorado debe saber identificarlas y articular estrategias racionales para solventarlas (Flores, 2007). Se propone un proceso de valoración reflexiva del equipo docente sobre su propia práctica de enseñanza, que puede promover el uso y desarrollo de dichas estrategias racionales para optimizar su práctica profesional, que acabará revirtiendo en la mejoría del desarrollo y gestión de experiencias de aprendizaje para su alumnado. Una herramienta de utilidad para estructurar la reflexión sobre las prácticas docentes en función del contexto educativo es el análisis basado en Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades (DAFO, Pickton y Wright, 1998). Creado en el ámbito empresarial, como herramienta de análisis estratégico, establece cuatro focos de atención para discernir inconvenientes y ventajas de la implementación de una unidad didáctica en relación con elementos propios y ajenos a la propuesta didáctica. Hay dos tipos de inconvenientes: las debilidades son las características negativas inherentes a la propuesta, mientras que las amenazas son las características del contexto que perjudican la implementación de esta. Del mismo modo, hay dos clases de ventajas: las fortalezas son las características positivas de la propuesta y las oportunidades son las características del contexto que favorecen la práctica de enseñanza. Montejo-Gámez y Amador-Saelices (2017) desarrollaron una unidad de trabajo por competencias que ilustra el uso análisis DAFO para la evaluación de la enseñanza de las matemáticas en Educación Secundaria Obligatoria.

Finalmente, debe considerarse esta evaluación desde los diferentes grupos de interés implicados en la educación matemática. Tradicionalmente se ha venido asumiendo que el éxito de la actividad docente se puede calibrar en términos del rendimiento académico de sus estudiantes. Ciertamente, el aprendizaje adquirido por el alumnado es un indicador de la calidad de la enseñanza recibida, pero la evaluación del profesorado no debe restringirse a la observación de este aprendizaje. El proceso educativo es complejo e involucra a diferentes colectivos que lo contemplan desde perspectivas encontradas: alumnado, profesorado, familias o instituciones. Estos grupos, que se ven de algún modo afectados por la actuación del equipo docente en el aula, proporcionan opiniones diversas que, aunque no deben condicionar al profesorado, pueden orientarle en la toma de decisiones sobre la enseñanza. A este respecto, se pueden emplear diferentes procedimientos de evaluación que recojan

información sobre esta diversidad de puntos de vista, que pueden enriquecer su desarrollo profesional. Para conocer la opinión del alumnado pueden utilizarse encuestas de valoración del profesorado, de forma análoga a como se hace en los centros universitarios. Respecto al resto de docentes, se propone fomentar la coordinación entre departamentos y la inclusión de otros profesores y profesoras en el aula de Matemáticas que favorezca la retroalimentación entre iguales. Por su parte, la tutoría y las asociaciones de madres y padres pueden ser canales de comunicación efectiva que permita conocer la valoración y propuestas de las familias. Por último, el intercambio de información con las instituciones educativas está por encima de la competencia evaluadora del profesorado, ya que la evaluación funcional del personal docente corresponde a la inspección educativa. En este sentido, se propone definir un modelo de conocimiento de profesorado (puede importarse alguno desde la investigación educativa, por ejemplo, el modelo propuesto por Aguilar et al, 2013) que establezca unos fines claros para orientar la evaluación de manera consistente. En cualquier caso, este tipo de evaluación escapa del interés de la presente sección, por lo que se aparca un debate con mayor profundidad.

### *2.3.3. Conclusiones*

La evaluación en el aula de Matemáticas debe, en el contexto curricular actual, concebirse desde una perspectiva formativa. En cuanto a los resultados de aprendizaje del alumnado, la competencia matemática debe entenderse como la valoración del proceso involucrado en dar respuesta a situaciones donde las matemáticas se aplican a situaciones contextualizadas. Para hacer efectiva esta valoración, deben fijarse de antemano las expectativas de aprendizaje (destrezas relacionadas con el proceso o fases de este) y proponerse tareas abiertas que supongan un desafío para el alumnado. Los procedimientos de evaluación deben fundamentarse en la observación del cumplimiento de las expectativas fijadas, buscando que el resultado de la evaluación proporcione información sobre qué capacidad de aprendizaje tiene el estudiantado. Por otra parte, la evaluación formativa de las competencias clave dentro del aula de Matemáticas implica una labor de diseño de herramientas y procedimientos adaptados a una concepción novedosa, que debe ser dirigida por los centros educativos y promovida por las instituciones y por las universidades. En particular, se hace necesario el desarrollo de actividades de formación continua e inicial del profesorado de Matemáticas que fomente la capacidad de desarrollo de herra-

mientas de evaluación propias. Por otra parte, la revisión del currículo que reduzca la cantidad de contenidos y fomente la incidencia de las matemáticas en otras disciplinas potenciaría el sentido de la evaluación por competencias y facilitaría su implementación efectiva. En cuanto a la evaluación de las prácticas de enseñanza del profesorado, se ha observado que esta debe ser una práctica generalizada, ya que no solo permite tomar decisiones sobre la enseñanza, sino que también contribuye al desarrollo profesional del docente. Una evaluación efectiva de la práctica profesional se ve potenciada por la coordinación entre profesorado y el uso de herramientas desarrolladas por la investigación.

La discusión desarrollada deja de manifiesto que educador, investigador e instituciones afrontamos el reto de emplear la evaluación como herramienta efectiva para apoyar el proceso de aprendizaje de las matemáticas y que sirva para concretar o adaptar el currículo a los conocimientos del alumnado y conseguir así perfeccionar el trabajo docente. Es esencial, con este fin, que los procesos de evaluación se apoyen en tres pilares fundamentales: la coordinación entre profesionales de la enseñanza, la formación del profesorado y el apoyo de la investigación educativa.

Emplear la evaluación como herramienta efectiva para apoyar el proceso de aprendizaje de las matemáticas y que sirva para concretar o adaptar el currículo a los conocimientos del alumnado y conseguir así perfeccionar el trabajo docente

### 3. ENSEÑANZA

En esta sección se trata la formación inicial de docentes de primaria. La formación inicial del profesorado de educación secundaria se aborda en el capítulo de educación universitaria en el apartado del máster de Formación del Profesorado de Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato. En el mismo capítulo también se tratan los grados que dan acceso al mismo. La última parte de esta sección se dedica al desarrollo profesional (la formación permanente y continua).

#### 3.1. La formación inicial de maestros de Educación Primaria

Los diferentes estudios TIMSS (Trends International Mathematics and Science Study) han puesto de manifiesto diferencias y deficiencias en el conoci-

miento matemático del estudiantado de cuarto curso de Educación Primaria<sup>8</sup> de los distintos países (véase tablas 1, 2 y 3 de la sección *Educación matemática en la Educación primaria* en este capítulo). En ellos, España se sitúa claramente por debajo de la media de los países participantes de la Unión Europea y la OCDE. Este hecho apunta la necesidad de revisar la enseñanza de las matemáticas en nuestro sistema educativo y a situar el foco de atención en la formación inicial de los futuros docentes para garantizar la calidad de la educación de sus futuros alumnos.

Este capítulo se centra en tratar aspectos ligados a la formación inicial en Matemáticas de los y las maestras de primaria. Los estudios de grado de formación inicial en Magisterio tienen denominaciones distintas según las facultades, para simplificar el texto se denominan Grados de Maestro (GdM). No se puede obviar que existen diferencias entre universidades y comunidades autónomas, sin embargo, dado que no se trata de dar una información exhaustiva, se dará en este texto una visión general, centrándolo en las particularidades de aquellos casos considerados de interés.

En primer lugar, se describe el perfil de los estudiantes que acceden al Grado de Maestro, dado que se considera un aspecto que tiene implicaciones importantes en el nivel matemático de los egresados y egresadas. La segunda parte de esta sección se centra en dar una visión general sobre el diseño de los GdM particularizando en la formación en Matemáticas. Finalmente, se trata el acceso a la profesión, incidiendo en el diseño de las pruebas de los concursos públicos.

El acceso a los GdM puede realizarse por tres vías: estudiantes que han finalizado Bachillerato y han superado las EBAU (Evaluación del Bachillerato para el Acceso a la Universidad), que han superado un ciclo superior de Formación Profesional o que proceden de otros grados. Lamentablemente, no es fácil acceder a los datos relativos al acceso de las personas que se matriculan en primer curso del GdM. Sin embargo, en base a la experiencia reciente, se ha observado que una parte considerable del alumnado abandonó las Matemáticas al finalizar la Educación Secundaria Obligatoria (o bien porque acceden desde ciclos de Formación Profesional o bien por haber cursado el Bachillerato de Humanidades)

---

<sup>8</sup> En realidad, el estudio analiza también el rendimiento de estudiantes de educación secundaria, pero nuestro país se limita a participar en las pruebas de 4º de primaria.

y que solo una pequeña proporción de los que acceden a través de las pruebas de acceso a la universidad (PAU o EBAU) han estudiado el Bachillerato Científico-Tecnológico (en el trabajo de Ruiz de Gauna, García y Sarasua (2013) se presentan algunos datos recogidos en la Universidad de Bilbao). Sin duda, esto tiene implicaciones importantes tanto en la formación inicial en Matemáticas como en la actitud al enfrentarse a estas, ya que puede indicar que los estudios de GdM siguen siendo considerados como una opción más ligada a las ciencias sociales, lo cual puede determinar una carga afectiva por parte del alumnado relativa al interés por las matemáticas.

En efecto, los estudios dirigidos a determinar el conocimiento matemático inicial del alumnado que accede a los GdM siguen evidenciando la necesidad de encontrar estrategias para garantizar una adecuada formación inicial en Matemáticas de los maestros y maestras. A pesar de que el alumnado que accede a los GdM ha superado con éxito todas las etapas educativas previas, son numerosos los estudios que muestran que siguen teniendo dificultades con las matemáticas. En particular, se han evidenciado carencias y dificultades relativas a aspectos esenciales como la proporcionalidad directa y los porcentajes, la aplicación de procedimientos de medida o la interpretación de resultados en situaciones que involucran la magnitud tiempo (Nortes y Nortes, 2013; Arce, Marbán y Palop, 2017).

Estos datos, centrados en los conocimientos matemáticos del alumnado que ingresa en los estudios de GdM, no contrastan con aquellos realizados con los egresados. En efecto, a partir de los resultados obtenidos en los primeros TIMMS, se crea el estudio TEDS-M (Teacher Education Study in Mathematics), desarrollado entre los años 2006 y 2009, con el objetivo de comparar a nivel internacional el conocimiento matemático que ha adquirido el alumnado de Magisterio al terminar su formación. La participación de España en el estudio TEDS-M quedó limitada a analizar la formación inicial en matemáticas de los y las estudiantes de las titulaciones de Magisterio de 48 centros. Para participar, debían cumplir dos requisitos: cursar el último año de la carrera y estar matriculados de un mínimo de 30 créditos. Estos requisitos pretendían asegurar que la muestra del estudio hubiera cursado toda la formación en matemáticas y de didáctica de las matemáticas. En cualquier caso, en el momento en que se realizó el estudio en España (primavera del 2008), las directrices para obtener el título de Maestro/a en Educación Primaria venían fijadas por el Real Decreto 1440/1991. Por tanto, la formación recibida por los y las participantes no es comparable a la que se imparte actualmente en los GdM.

En base a los resultados descritos en Sanz y Martín (2014, p. 78), los resultados en Matemáticas de España (que no dispone, a diferencia de otros países, de profesorado especialista en la materia) se sitúan en el límite inferior de la franja de países con resultados medios, que incluye a EE. UU., Suiza, Noruega y Alemania entre los países próximos a nuestro entorno socioeconómico y cultural. Los resultados de conocimiento de didáctica de las matemáticas son levemente mejores, más cercanos a la media que los de matemáticas, aunque siempre por debajo de países de nuestro entorno. Estos resultados evidencian que las características individuales del alumnado son la causa principal de su rendimiento en Matemáticas. Sin embargo, el conocimiento del equipo docente aparece como la causa más clara entre aquellas no relacionadas con el propio alumnado, mucho más que el contexto social o el tiempo dedicado a la enseñanza de las Matemáticas durante su formación inicial (Rico, Gómez y Cañadas, 2014).

Una vez identificada la problemática existente en cuanto a las carencias matemáticas del futuro profesorado, se pueden analizar diferentes vías para intentar dar respuesta a la misma. Una forma es introducir un requisito de acceso a los GdM, al igual que se ha hecho, tradicionalmente, en los estudios superiores de otras disciplinas tales como Educación Física o Bellas Artes. Castro, Mengual, Prat, Albarracín y Gorgorió (2014) definen el **Conocimiento Matemático Fundamental** (CMF) como el conocimiento disciplinar en matemáticas necesario para seguir con aprovechamiento las materias de matemáticas y de didáctica de las matemáticas, teniendo en cuenta los requerimientos de la práctica profesional y las competencias matemáticas propias de la educación primaria. En Gorgorió y Albarracín (2019) se muestra el desarrollo de una prueba específica para medir el CMF que se ha utilizado con alumnado recién ingresado al GdM desde el curso 2013-14. Los resultados, coherentes con los estudios anteriores, muestran deficiencias en su CMF. Además, se corrobora que los resultados de las pruebas de Matemáticas de las PAU/EBAU no correlacionan con las calificaciones obtenidas en la prueba de CMF. En concreto, se observa que una parte sustancial del alumnado que supera las pruebas Matemáticas de las PAU/EBAU no lo hacen con la prueba de CMF, lo que se pone de manifiesto que su formación matemática previa no asegura un conocimiento inicial de la materia adecuado para afrontar el GdM. Esto evidencia la necesidad de introducir una prueba específica complementaria a las pruebas de acceso a la universidad. Una prueba de este tipo existe en Cataluña desde el 2015 (Prueba de Aptitud Personal, PAP), incluye específicamente una prueba de competencia matemática para medir el CMF

desde el 2017. En Gorgorió, Albarracín y Laine (2019) se observa una mejora estadísticamente significativa del CMF de las personas ingresadas en la UAB el curso 2017-2018 (con una PAP que incluye una prueba específica de CMF) respecto al estudiantado del curso 2016-2017, que pasó una PAP sin prueba específica de CMF. Los buenos resultados derivados de esta experiencia desarrollada en las universidades catalanas abren, sin lugar a duda, el debate sobre la posibilidad de diseñar una prueba de acceso a los estudios de GdM que permita establecer unos mínimos relativos al CMF y que, así, garantice una competencia matemática mínima en los futuros maestros y maestras.

El segundo aspecto que valorar en la reflexión sobre los conocimientos matemáticos del profesorado de primaria es el diseño de los estudios de Diplomatura de Maestro (DdM). Dado que todavía son pocos los maestros y maestras de primaria que han cursado los actuales GdM, conviene revisar brevemente la estructura de las antiguas diplomaturas para analizar con perspectiva su formación matemática.

La reforma general del sistema educativo establecida por la LOGSE supuso una modificación en la duración y la estructura de la Educación Primaria y, por ende, requirió de una revisión de las enseñanzas universitarias de formación inicial de profesorado de primaria. En efecto, el Decreto 1440/1991 estableció el plan de estudios de las diplomaturas de Magisterio atendiendo a las necesidades de la LOGSE. En base al plan de estudios de 1991, se eliminó la figura del maestro especialista en Matemáticas, incluyendo la asignatura en la especialidad en Educación Primaria (generalista). La LRU dejaba cierta autonomía a cada universidad para configurar las titulaciones, así, por ejemplo, en la Universitat de València (UV) se fijó en 198 la cantidad mínima de créditos para obtener el título de Maestro en cualquiera de las especialidades. Además, se optó por fijar un número reducido de asignaturas troncales y obligatorias dando más peso a la optatividad. Así, este plan de estudios incluía una formación bastante pobre de los egresados tanto en Matemáticas como en Didáctica de la Matemática.

Los actuales planes de estudio de GdM son relativamente recientes, en marzo del 2003 se inició, por acuerdo de la Conferencia de Decanos y Directores de Centros con titulaciones de Maestro/a, la constitución de una Comisión de Trabajo para diseñar un proyecto que con el título "*La adecuación de las titulaciones de Maestro al Espacio Europeo de Educación Superior*" fuese presentado para su financiación por la ANECA, en su primera convocatoria de ayudas para el diseño de títulos de grado. En el trabajo de Maldonado (2004), se presenta una síntesis de la

propuesta de estructuración de lo que pasaría a ser el germen del actual GdM y que se describe con detalle en el Libro Blanco de Magisterio (ANECA, 2005).

En el año 2007, se establecen por Orden ECI de 27 de diciembre (BOE de 29 de diciembre) los requisitos para la verificación de los títulos universitarios oficiales que habilitan para el ejercicio de la profesión de maestro/a en Educación Primaria. En esta misma orden se crea la estructura modular que adquieren las titulaciones de Grado en Educación Primaria y se establece el catálogo de módulos en los que se distinguen tres tipos: módulo de formación básica (incluye asignaturas como Aprendizaje y Desarrollo de la Personalidad, Procesos y Contextos Educativos; Sociedad, Familia y Escuela, sumando un total de 60 créditos); módulo didáctico y disciplinar que incluye las materias dedicadas a la enseñanza y aprendizaje de las diferentes disciplinas (Matemáticas, entre otras) y suma un total de 100 créditos. Una de las novedades de los actuales estudios de GdM es la importante carga de créditos asignados al módulo de prácticas escolares que, incluyendo el Trabajo Fin de Grado, suma un total de 50 créditos.

Así, en los actuales estudios de GdM, en base a lo establecido en la Orden que especifica los requisitos para la titulación del Grado de Maestro de Primaria se establece que esta debe permitir la adquisición de “competencias matemáticas básicas (numéricas, de cálculo, geométricas, representaciones espaciales, estimación y medida, organización e interpretación de la información, etc.)”, en este mismo texto se incide también en que las asignaturas del módulo didáctico y disciplinar deben dotar a los futuros maestros y maestras de la capacidad de “plantear y resolver problemas vinculados con la vida cotidiana. Valorar la relación entre matemáticas y ciencias como uno de los pilares del pensamiento científico” (MEC, 2007, p. 53750). En base a estas pautas generales marcadas por la orden oficial, cada universidad ha configurado el diseño de los estudios de grado, así, la carga en créditos dedicada a la asignatura de Matemáticas o Didáctica de las Matemáticas oscila entre 15 y 22 créditos ECTS, lo que **representa entre alrededor de un 6% y un 9% del total de créditos de la titulación** y que, a tenor de lo que muestran diferentes estudios antes citados, parece una proporción insuficiente.

A partir de esta situación, existen diversas estrategias posibles para conseguir mejoras en el conocimiento matemático inicial del profesorado de Educación Primaria. En la Comunidad de Madrid, desde el año 2013 se ha incorporado una prueba de conocimiento matemático específica en el concurso oposición de Educación Primaria para proveer las plazas de las escuelas públicas. Esta estrate-

gia puede ser útil a corto plazo para resolver situaciones específicas, ya que no tienen influencia sobre el personal docente que se incorpora a los centros educativos privados. Nortes y Nortes (2018) utilizaron la prueba de ingreso al Cuerpo de Maestros/as de la Comunidad de Madrid con alumnado de 2º y 4º del GEP de la Universidad de Murcia, mostrando que solo un 17,8% superarían dicha prueba. Este dato no deja claro si un examen realizado una vez que se dispone del título y, por lo tanto, se ha completado la formación, mejora su conocimiento matemático.

### 3.2. Desarrollo profesional del docente de Matemáticas. La formación permanente y la formación continua

Al finalizar la etapa de formación inicial, el profesorado de Matemáticas tiene la opción de continuar formándose mientras ejerce su profesión. Actualmente la tendencia que marca el mercado, y aparentemente la demanda social, es lo que se ha denominado *lifelong learning*, que en español se ha traducido por *aprendizaje a lo largo de la vida*.

Sin embargo, este concepto es reciente y algunos autores apuntan (Bauman, 2009; Fernández Liria, García Fernández y Galindo Ferrández, 2017) a que obedece más a una exigencia del mercado, enmascarada en una promesa de excelencia profesional ilusoria. Anteriormente se hacía alusión a dos términos, que si bien se utilizan indistintamente como si fuesen la misma cosa, en realidad presentan diferencias sustanciales para este análisis (Navío Gámez, 2005): formación continua y formación permanente.

La formación permanente se refiere a la capacidad de una persona de continuar aprendiendo desde y en cualquier contexto. Alude al derecho de formarse integralmente, como persona que forma parte de una sociedad, pero también como sujeto individual con interés por conocimientos diversos. En este sentido se asemeja a la definición de *lifelong learning*, pero sin restringirlo exclusivamente al ámbito de lo profesional. No todos los aprendizajes del ser humano deben ir encaminados a una mejora profesional.

En cambio, la formación continua se refiere a aquella que se adquiere para mejorar el desempeño profesional, continuamente y de manera sostenida en el tiempo. Se engloba dentro de la formación permanente, considerándose uno más de todos los aspectos y modalidades en las que esta se basa. El punto en común con el concepto del *lifelong learning* estaría en la continuidad temporal, pero que finaliza al terminar la vida laboral. Sería un *professional lifelong learning*.

El desarrollo profesional del equipo docente de Matemáticas comprende tanto la formación inicial como la formación continua, pero también comprende aspectos como la promoción en la carrera docente o la experiencia.

La formación continua puede adquirirse de diferentes maneras, en función de la que el profesorado considere más conveniente. Se pueden agrupar en las siguientes categorías:

- *Ofertadas por las administraciones de las comunidades autónomas.* Son gratuitas para el profesorado y proporcionan ventajas en la promoción de la carrera docente: para obtener ciertos puestos (destino en concurso de traslados o cargos directivos) y para adquirir complementos retributivos.
- *Ofertadas por otras entidades.* Algunas de estas entidades son colaboradoras de las administraciones, y por tanto, las actividades de formación tienen el mismo carácter que las ofertadas por la administración. Sin embargo, en muchos casos la formación es impartida desde entidades privadas y, por lo tanto, no se garantiza la gratuidad ni su validez para la promoción de la carrera docente.
- *Comunidades docentes, redes profesionales y autoformación.* Se trata de acciones emprendidas entre iguales o por iniciativa propia. La participación en un congreso de educación para intercambiar experiencias, la pertenencia a una sociedad de profesorado de Matemáticas o la lectura de estudios sobre didáctica, son algunos ejemplos. El impacto en la promoción y la gratuidad es variable y depende de la legislación de cada zona.

### 3.2.1. Planes de formación de comunidades autónomas

Cada comunidad autónoma crea unos planes de formación dirigidos a profesorado en activo, en los cuales se marcan unas líneas prioritarias y se ofertan una serie de acciones formativas gratuitas. Por regla general, existen centros o institutos de formación, que pueden estar organizados en red o no, desde los cuales se coordinan las acciones. En numerosas ocasiones aparecen ligados al concepto de innovación. En el anexo se recogen las tendencias en la oferta específica de Matemáticas o en las que se encuentra de forma implícita (es el caso de la forma de trabajo STEAM: *Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics*) durante los primeros años del siglo XXI. En la siguiente tabla se incluyen los principales aspectos que se han recogido en el anexo:

- Plan de formación continua (periodicidad): PF.
- Existencia línea de formación continua en Matemáticas: PFM.

- Número de acciones formativas relacionadas con las matemáticas anteriores a 2018-2019: C-antes 2018.
- Número de acciones formativas relacionadas con las matemáticas 2018-2019: C-2018.
- Mención explícita en el plan a la formación STEM/STEAM: STEM/STEAM.

**Tabla 4. Oferta de formación continua en matemáticas por comunidad autónoma**

	PF	PFM	C-antes2018	C-2018	STEM/STEAM
Comunidad de Madrid	Anuales	No	175 Desde el 2009	19	Sí
País Vasco	Anuales	No	38 Desde el 2017	19	Sí
Castilla-La Mancha	No hay información	No	No hay información	4	Sí
Principado de Asturias	Anuales	No	No hay información	4 (4 ABN) <sup>9</sup>	Sí
Castilla y León	Plurianual	No	Congresos desde 1990	164 (162 ABN)	No
Andalucía	Plurianuales	Sí	No hay información	242 (152 ABN)	No
Cantabria	Anuales	No	9 Desde el 2015	3	No
Galicia	Anuales	No	3 2015-2016	4 (1 ABN)	Sí
Cataluña	Anuales	Sí	No hay información	349 (incluye todas las modalidades)	Sí
Comunidad Valenciana	Anuales	Sí	No hay información	23	Sí
Extremadura	Plurianuales	No	No hay información	10 (5 ABN)	No
Región de Murcia	Trienales	Sí	No hay información	8	No
Canarias	Trienales	No	No hay información	5 (3 ABN)	No
Aragón	Cuatrienales	No	No hay información	1 ABN	No
Islas Baleares	Cuatrienales	Sí	15 Desde el 2015	9	No
Navarra	Anuales	No	9 Desde el 2015	2	No
La Rioja	No hay información	No	No hay información	5	No
Ceuta	Anuales	No	No hay información	2	No
Melilla	Anuales	No	2 Desde el 2015	0	Sí
INTEF <sup>10</sup>	Anuales	No	1 Desde el 2014	0	Sí <sup>11</sup>

<sup>9</sup> ABN son las siglas de Algoritmo Abierto Basado en Números. Consiste en trabajar las operaciones aritméticas mediante algoritmos que el alumnado puede escoger para resolver las operaciones, y que pueden ser diferentes a los tradicionalmente enseñados en las aulas.

<sup>10</sup> Ámbito nacional.

<sup>11</sup> Bajo el epígrafe “pensamiento computacional”.

### 3.2.2. Otra oferta de formación continua: Sociedades de profesores de matemáticas e institutos

La Federación Española de Sociedades de Profesores de Matemáticas (FESPM), a través de las sociedades, es impulsora de multitud de actividades para el docente de Matemáticas. Estas son, en muchos casos, entidades colaboradoras de los diferentes gobiernos autonómicos, lo que permite que los centros de profesorado recurran a ellas para el diseño e impartición de cursos de formación. En otras ocasiones, los centros certifican la formación que realiza la Federación. En algún caso, por ejemplo, en Canarias o Castilla-León, se podría decir que son impulsores de acciones formativas y que sin ellos la formación para el personal docente de Matemáticas sería inexistente.

Entre sus actuaciones hay que destacar la organización de las Jornadas para el Aprendizaje y la Enseñanza de las Matemáticas (JAEM), que llevan celebrándose desde el año 1981. La última ha tenido lugar en el 2019. También han colaborado en la organización del VIII CIBEM Congreso Iberoamericano de Educación Matemática, que tuvo lugar en Madrid en el verano del 2017.

La RSME contribuye a la formación del profesorado organizando junto a la FESPM la Escuela de Educación Matemática Miguel de Guzmán. Se lleva realizando desde el 2005 y actualmente tiene carácter bienal. En Tenerife, en el 2018, tuvo lugar la X edición.

Los Institutos de Geogebra organizan cursos, seminarios y jornadas sobre el uso de este programa en las clases de Matemáticas. Comenzaron su andadura en el 2013, aunque desde el 2009 se han celebrado eventos para el profesorado de Matemáticas en niveles no universitarios organizados por el Centro Internacional de Encuentros Matemáticos (CIEM), la FESPM y el Instituto Geogebra.

### 3.2.3. Perspectiva internacional sobre la formación continua del profesorado de Matemáticas

En el *Informe Eurydice: La profesión docente en Europa. Prácticas, percepciones y políticas* (2015), se recogen las necesidades de formación del profesorado europeo. Dos de los índices a evaluar se centran en los contenidos y en las competencias pedagógicas de la propia materia. En general, en Europa no se manifiesta una necesidad alta de formación en estos ámbitos, ya que las diferencias entre las áreas no son significativas. No obstante, la oferta formativa en España es mucho más amplia en estas cuestiones que en otras manifestadas por el profesorado,

como las relacionadas con las TIC y las nuevas tecnologías, o las que involucran la gestión de aula para resolución de conflictos, atención al alumnado con necesidades educativas y la diversidad cultural. Es decir, el profesorado tiene la percepción de que tiene poca oferta para sus necesidades reales.

El informe *Talis* (OCDE, 2014) ya proporciona datos en este sentido, avalado por el estudio homónimo español (Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 2014), que evalúa las creencias del profesorado de España de Matemáticas en torno a la percepción de su labor docente en relación con el de sus homólogos europeos. Dicho informe sitúa la percepción de la propia práctica del profesorado de Matemáticas español en el mismo nivel que el personal docente europeo. No obstante, se encuentra por debajo en cuestiones como el trabajo en proyectos que duren más de una semana o el trabajo en equipo con otros profesores y profesoras. También es ligeramente inferior en gestión de la disciplina de aula y participación del alumnado en la construcción de soluciones autónomas.

Tanto las necesidades de formación a nivel europeo como las creencias del profesorado de matemáticas, sugieren que la oferta formativa debe estar orientada a metodologías abiertas, la gestión de aula y al intercambio de experiencias profesionales. Y, sobre todo, debe contemplar la inclusión de las TIC y nuevas tecnologías, a pesar de que el profesorado español de Matemáticas expresa una percepción de competencia alta y a que esta necesidad solo es manifestada de forma notable en las franjas de edades mayores de 40 años.

Por otro lado, y en contraposición a los informes anteriores, un reciente estudio de la European Schoolnet (2018) define a las Matemáticas como “la asignatura más importante en educación”. Son la clave para que los estudiantes opten por estudios STEAM, ya que la elección del alumnado dependerá de su éxito en esta materia. Las políticas educativas deben ser conscientes de que a través de las Matemáticas están promoviendo la entrada a las carreras STEM, y por ello recomiendan que el profesorado se forme en la disminución de la tasa de fracaso en esta materia, así como en metodologías que integren las Matemáticas con otras asignaturas bajo un enfoque de trabajo por proyectos, mediante la indagación o la investigación.

### *3.2.4. Conclusiones: Desarrollo profesional del docente de Matemáticas*

Las opciones para la formación continua del profesorado de Matemáticas son escasas y dispersas. No existe un itinerario de formación en prácticamen-

te ninguna comunidad autónoma que pueda ser interesante para el desarrollo profesional del docente de esta disciplina. La oferta formativa generalizada hace hincapié en metodologías vacías, sin concretar sobre qué se quiere trabajar y sin tener en cuenta los contenidos. En el caso de las matemáticas, la investigación en didáctica ha demostrado que la forma de enseñar esta materia debe relacionarse con el tipo de conceptos involucrados. Sin embargo, del análisis de los datos disponibles sobre la oferta de formación continua para el profesorado, se observa una tendencia al abandono de las acciones con contenido matemático a lo largo de los últimos años.

No existe un itinerario de formación en prácticamente ninguna comunidad autónoma que pueda ser interesante para el desarrollo profesional del docente de esta disciplina

Esta tendencia contrasta con la demanda de formación en la enseñanza de las Matemáticas expresada por el profesorado, sobre todo en los niveles de infantil y primaria. La prueba de esta necesidad es la proliferación de entidades privadas con ánimo de lucro que venden supuestos métodos milagro y medran a costa de estas carencias y de la indefensión del profesorado, sin otra opción que contemplar. Si las instituciones públicas de los gobiernos autónomos no son capaces de ofrecer una oferta sólida, coherente, basada en la investigación en didácticas específicas que marque un itinerario de formación continua para el docente que ha de enseñar Matemáticas, no se garantizará un correcto desarrollo de las competencias matemáticas del alumnado.

**Las sociedades de profesorado de Matemáticas y la RSME juegan un papel fundamental en la formación continua del personal docente.** También las universidades y otras asociaciones e institutos interesados en la formación matemática deberían involucrarse y trabajar conjuntamente para conseguir que las Matemáticas sean consideradas una materia transversal, necesaria para el desarrollo integral de la persona.

Otra de las tendencias observadas es que las matemáticas únicamente aparecen ligadas a la formación STEAM (NCTM, 2018). El origen de esta perspectiva de la enseñanza está fuertemente vinculada a la productividad económica y de mercados (Teitelbaum, 2014). Es una idea positiva en tanto en cuanto potencia que el alumnado ejercite la creatividad, no pierda la curiosidad ni la capacidad de hacerse preguntas y aprenda a resolver problemas complejos. Sin duda, una formación de este tipo propicia que las futuras opciones de empleo sean mayores

y mejores. No obstante, en el caso de las matemáticas, se corre el peligro de que sean relegadas a un papel meramente instrumental. En ese sentido no podemos obviarlas cuando se habla de pensamiento computacional y la robótica, porque estas tendencias concretas no pueden sustituir a toda la matemática en su conjunto ni a las competencias involucradas en su comprensión.

Respecto a la perspectiva internacional, la tendencia es priorizar la formación en metodologías generales y la inclusión de las TIC, en detrimento de la formación en cuestiones pedagógicas relacionadas con el contenido o con el currículo. Esto contrasta con la promoción de la forma de enseñanza STEAM, que intenta potenciar las vocaciones científicas para satisfacer un mercado laboral previsto en un escenario futuro. El profesorado de Matemáticas con un conocimiento escaso o deficiente sobre la didáctica de las matemáticas, poco podrá hacer para conseguir elevar la motivación hacia el estudio de carreras STEAM.

En este apartado se ha intentado proporcionar una visión general del estado de la cuestión en torno a la formación continua del docente de Matemáticas. No obstante, es necesario contar con estudios exhaustivos para corroborar estas tendencias y en la medida de lo posible evaluar sus causas. Asimismo, también es recomendable ampliar la investigación a otras entidades, públicas y privadas, que oferten formación continua. De esta manera, el panorama será más completo y permitirá fundamentar y argumentar posibles soluciones.

#### 4. CONCLUSIONES

Este capítulo ofrece una visión de conjunto de la enseñanza de las Matemáticas en la educación preuniversitaria española. Se han descrito las características de la educación matemática señalando propuestas de mejora y se han identificado desafíos que debemos afrontar a nivel nacional durante los próximos años. Estas ideas se resumen a continuación en torno a tres ejes fundamentales: las políticas educativas, las prácticas de enseñanza en el aula y la formación del profesorado de Matemáticas.

Respecto a las **políticas educativas**, se han constatado insuficiencias en cuanto a la atención a la diversidad en la enseñanza de las Matemáticas escolares. A día de hoy aún existe falta de equidad en las oportunidades de una formación matemática permanente para el alumnado inmigrante y con necesidades educativas de atención específicas, incluyendo estudiantes con talento matemático, con mucho margen aún de mejora en este sentido según apuntan los datos. En

el análisis de género aparecen cifras que sugieren que existe una brecha de género en la educación matemática desde edades tempranas. Entender sus causas es imprescindible para diseñar políticas dirigidas a solucionar este problema, por lo que parece de la mayor importancia investigar cómo y cuándo se origina esta brecha de género<sup>12</sup>.

En lo que respecta a la **normativa y al enfoque de la educación matemática**, se ha destacado la debilidad de apostar por una alfabetización puramente funcional del alumnado, dejando de lado la oportunidad de proporcionar a los ciudadanos y ciudadanas del mañana una educación matemática crítica, intercultural y sostenible. Las sucesivas reformas educativas apenas han alterado el enfoque curricular básico, que sigue reincidiendo en una visión de las matemáticas marcadamente disciplinar y atómico, cargada de contenidos y donde el diseño cíclico (espiral-helicoidal) no se ha consolidado como efectivo. Este hecho parece haber derivado en un enfoque de las matemáticas poco comprensivo, sobre todo en edades tempranas, lo que conlleva a una visión de la asignatura más bien procedimental, es decir, centrada en procesos que se reproducen para resolver tareas más o menos rutinarias. Por el contrario, en el contexto socioeducativo actual en el que se tiende a la globalidad, el desarrollo de las competencias STEAM deben ser parte de la formación del alumnado en las enseñanzas obligatorias y bachillerato. Por tanto, las políticas educativas deben comprometerse a apostar por modelos formativos que apoyen una formación matemática que fomente el razonamiento y la comprensión, al tiempo que admita la interdisciplinariedad, de forma que el conocimiento matemático surja como respuesta a problemas que se plantean asociados a las ciencias, la tecnología y la ingeniería. En este sentido, conviene impulsar el desarrollo de la competencia matemática desde enfoques en los que la aplicabilidad de los contenidos matemáticos en el ámbito STEAM quede patente durante el proceso de aprendizaje de las Matemáticas del alumnado preuniversitario.

Respecto a las **prácticas docentes**, estas ideas repercuten principalmente en la metodología y en la evaluación. Se propone apostar por metodologías basadas en lo fenomenológico como son las tareas auténticas, el aprendizaje basado en proyectos o la resolución de problemas. Además, la investigación apoya el uso de materiales manipulativos, no solo a edades tempranas. Por ello es necesario que,

---

<sup>12</sup> Véase el capítulo específico sobre género en este Libro Blanco.

incluso en tiempos digitales, el alumnado no deje de aprender Matemáticas en entornos analógicos, para que puedan aprovechar con éxito los recursos cognitivos de los que disponen. Esto no debe ser óbice, no obstante, para considerar la tecnología como un recurso útil para la comprensión de las matemáticas. De hecho, el escenario actual respecto a la relación de la ciudadanía con la tecnología demanda que el estudiantado tome también el papel de creador, por lo que la programación y el pensamiento computacional aparecen como destrezas que deben asociarse con la competencia matemática, ya que todas ellas son claves para satisfacer las necesidades de una sociedad digital. Asimismo, se propone que la incorporación de estas metodologías sean una oportunidad no solo para la innovación a diferentes niveles, sino para atender a la diversidad del alumnado y mejorar la equidad del sistema educativo.

En este contexto, la **evaluación en el aula de Matemáticas** debe concebirse desde una perspectiva formativa. Las expectativas de aprendizaje deben ser objeto de observación por parte del profesorado, de manera que el resultado de la evaluación proporcione información sobre qué capacidad de aprendizaje tiene el alumnado y evitar así la discriminación en función de su rendimiento. No debe olvidarse, a este respecto, que en la educación preuniversitaria la evaluación debería ser una práctica orientada a la mejora del aprendizaje matemático, que está condicionada por el currículo, y debe atender tanto a los resultados de estudio como a las prácticas de enseñanza. Por otro lado, la evaluación de estas últimas debe generalizarse en el aula, ya que enriquece la capacidad de toma de decisiones del profesorado, contribuyendo a su desarrollo profesional. Una evaluación efectiva de la práctica profesional se ve potenciada por la coordinación entre docentes y el uso de herramientas desarrolladas por la investigación.

Respecto a la **formación del profesorado de Matemáticas**, se ha constatado que el conocimiento del docente aparece como la causa más clara entre aquellas no relacionadas con el alumnado, mucho más que el contexto social o el tiempo dedicado a la enseñanza de las Matemáticas durante su formación inicial. Esto otorga a la formación inicial y continua del profesorado un papel fundamental en el sistema educativo, lo que constata la necesidad de establecer estrategias para conseguir mejoras en el conocimiento matemático inicial de los maestros y maestras de primaria. No obstante, hay dudas sobre reintroducir la especialización entre el personal docente de primaria y se plantea una opción intermedia: la figura del docente con formación reforzada en matemáticas, no con el objetivo de que se encargue de toda la enseñanza de Matemáticas, sino con la idea de que

asuma un rol de coordinación entre los equipos docentes, para ayudarles en el desempeño de sus tareas.

Las opciones para la formación continua del profesorado de Matemáticas que se han encontrado son escasas y dispersas. No existe un itinerario de formación en prácticamente ninguna comunidad autónoma que pueda ser interesante para su desarrollo profesional. La oferta formativa generalizada hace hincapié en metodologías y no tiene demasiado en cuenta los contenidos, ni la evaluación. Se constata también la amenaza de una tendencia a priorizar la formación en metodologías generales y la inclusión de las TIC, en detrimento de la formación en cuestiones pedagógicas relacionadas con el contenido o con el currículo.

En síntesis, en el capítulo se ha argumentado sobre las debilidades de la educación matemática preuniversitaria española. A su vez, se han presentado las fortalezas de dicha educación para continuar innovando e investigando en dicho campo.

## 5. REFERENCIAS

- Aguilar, A., Carmona, E., Carrillo, J., Contreras, L., Climent, N., Escudero-Ávila, D., Flores-Medrano, E., Flores, P., Huitrado, J., Montes, M., Muñoz-Catalán, M., Rojas, N., Sosa, I., Vasco, D. y Zakaryan, D. (2013), “El conocimiento especializado del profesor de matemáticas: MTSK” en *Actas VII CIBEM*, Montevideo, Uruguay, pp. 5063-5069.
- Albarracín, L. y Gorgorió, N. (2014). Devising a plan to solve Fermi problems involving large numbers. *Educational Studies in Mathematics*, 86(1), 79-96.
- AMCA: Asociación Matemática Cálculo ABN (2019) Por unas matemáticas sencillas, naturales y divertidas. Disponible en: <https://calculoabn.com/> (Accedido: 13 05 2019).
- AMS (2018). American Mathematical Society: Math in the Media. French math education: Villani to the rescue. [En línea] Available at: <http://www.ams.org/publicoutreach/math-in-the-media/mm-03-2018-media>.
- Aragón (2013) “DECRETO 105/2013, de 11 de junio, del Gobierno de Aragón, por el que se regula el sistema aragonés de formación permanente del profesorado, su régimen jurídico y la estructura de sus red” *Boletín Oficial de Aragón*, 25 de junio de 2013 (123) pp. 15671-15683.

- Aragón (2016) “ORDEN ECD/309/2016, de 18 de marzo, por la que se aprueba el Plan Marco Aragonés de Formación del Profesorado” *Boletín Oficial de Aragón*, 18 de abril de 2016 (73) pp. 8678-8701.
- Arce, M., Marbán, J.M. y Palop, B. (2017). Aproximación al conocimiento común del contenido matemático en estudiantes para maestro de primaria de nuevo ingreso desde la prueba de evaluación final de Educación Primaria. En J.M. Muñoz-Escolano, A. Arnal-Bailera, P. Beltrán-Pellicer, M.L. Callejo y J. Carrillo (Eds.), *Investigación en Educación Matemática XXI* pp. 119-128. Zaragoza: SEIEM.
- Ärlebäck, J. B. (2009). Exploring the solving process of group solving realistic Fermi problems from the perspective of the Anthropological theory of didactics. In M. Pytlak, T. Rowland, & W Swoboda (eds.), *Proceedings of the CERME 7*, (pp. 1010-1020). CERME: Rzeszów (Poland).
- Arnau, D., Arevalillo-Herráez, M., y González-Calero, J. A. (2014). Emulating human supervision in an intelligent tutoring system for arithmetical problem solving. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, (1), 1-1.
- Barquero, B. (2015). Enseñando Modelización a Nivel Universitario: la relatividad institucional de los recorridos de estudio e investigación. *Boletim de Educação Matemática*, 29(52), 593-612.
- Barquero, B., Bosh, M. y Romo, A. (2015). A study and research path on mathematical modelling for teacher education. In K. Krainer & N. Vondrová (eds.), *Proceedings of the CERME 9* (pp. 809-8015). CERME: Prague (Czech Republic).
- Batanero, C. & Chernoff, E., (2018). *Teaching and Learning Stochastics: Advances in Probability Education Research*. Berlin: Springer.
- Bauman, Z. (2009). *Vida líquida*. Barcelona: Paidós.
- Beltrán Llavador, J.(2000). Escenarios para la formación del profesorado: los centros de profesores como fábricas de significado. *Conceptos de Educación*, 4. Consultado en [http://www.quadernsdigitals.net/index.php?accionMenu=hemeroteca.VisualizaArticuloIU.visualiza&articulo\\_id=2216](http://www.quadernsdigitals.net/index.php?accionMenu=hemeroteca.VisualizaArticuloIU.visualiza&articulo_id=2216).
- Beltrán-Pellicer, P. (2015), *Series y largometrajes como recurso didáctico en matemáticas en Educación Secundaria*, Tesis doctoral, UNED.

- Blum, W. y Niss, M. (1991). Applied mathematical problem solving, modelling, applications, and links to other subjects—State, trends and issues in mathematics instruction. *Educational studies in mathematics*, 22(1), 37-68.
- Borromeo-Ferri, R. (2018). Learning How to Teach Mathematical Modeling in School and Teacher Education. New York: Springer.
- Borromeo-Ferri, R. (2006). Theoretical and empirical differentiations of phases in the modelling process. *ZDM*, 38(2), 86-95.
- Bua, B. (2015). Modelización y matematización en el contexto de tres fenómenos físicos. Tesis doctoral, Universidad de Santiago de Compostela.
- Cabassut, R. y Ferrando, I. (2017). Difficulties in Teaching Modelling: A French-Spanish Exploration. In *Mathematical Modelling and Applications* pp. 223-232. Springer, Cham.
- Canarias (2012) “ORDEN de 23 de julio de 2012, por la que se modifica la estructura de la Red de Centros del Profesorado de Canarias” *Boletín Oficial de Canarias*, 2 de octubre de 2012 (193) pp. 18870-18872.
- Carbonneau, K. J., Marley, S. C. y Selig, J. P. (2013). A meta-analysis of the efficacy of teaching mathematics with concrete manipulatives. *Journal of Educational Psychology*, 105(2), 380.
- Castilla-La Mancha (2005) “Decreto 78/2005, de 05-07-2005, por el que se regula la formación permanente del profesorado en la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha” *Diario Oficial de Castilla-La Mancha*, 8 de julio de 2005 (136) pp. 13458-13462.
- Castilla-La Mancha (2012) “Decreto 59/2012, de 23 de febrero, por el que se crea el Centro Regional de Formación del Profesorado de Castilla-La Mancha y se regula la estructura del modelo de formación permanente del profesorado” *Diario Oficial de Castilla-La Mancha*, 28 de febrero de 2012 (43) pp. 7660-7664.
- Castro, Á., Mengual, E., Prat, M., Albarracín, L. y Gorgorió, N. (2014). Conocimiento matemático fundamental para el Grado de Educación Primaria: inicio de una línea de investigación. En M. T. González, M. Codes, D. Arnau y T. Ortega (Eds.), *Investigación en Educación Matemática XVIII* pp. 227-236. Salamanca: SEIEM.

- Cheng, K. (2017). *Advancing 21st Century Competencies in East Asian Education Systems*. Asia Society, Center for Global Education. [En línea] Available at: <https://asiasociety.org/files/21st-century-competencies-east-asian-education-systems.pdf>.
- Chevallard, Y., Bosch, M. y Gascón, J. (1997). *Estudiar matemáticas. El eslabón perdido entre la enseñanza y el aprendizaje*. Barcelona: ICE/Horsori.
- Comisión Europea, (2018). *Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones. Construyendo una Europa más fuerte: el papel de las políticas de juventud, educación y cultura*, Bruselas: s.n.
- Comisión Europea/EACEA/Eurydice. (2015) *La profesión docente en Europa: Prácticas, percepciones y políticas*. Informe de Eurydice. Luxemburgo: Oficina de Publicaciones de la Unión Europea.
- Comunidad de Madrid (2017) “DECRETO 120/2017, de 3 de octubre, del Consejo de Gobierno, por el que se regula la formación permanente, la dedicación y la innovación del personal docente no universitario de la Comunidad de Madrid”. *Boletín oficial de la Comunidad de Madrid*, 10 de octubre de 2017 (241), pp. 10-18.
- Comunidad de Madrid (2018) “ORDEN 2453/2018, de 25 de julio, de la Consejería de Educación e Investigación, que regula la formación permanente, la dedicación y la innovación del personal docente no universitario de la Comunidad de Madrid”. *Boletín oficial de la Comunidad de Madrid*, 3 de agosto de 2018 (184), pp. 46-60.
- Comunidad Valenciana (1985) “Decreto 12/1985, de 14 de febrero, del Consell de la Generalitat Valenciana, por el que se regula la creación y funcionamiento de los Centros de Profesores de la Comunidad Valenciana”. *Diari Oficial de la Generalitat Valenciana*, 7 de agosto de 1985 (234).
- Comunidad Valenciana (1997) “DECRETO 231/1991, de 2 de septiembre, del Gobierno Valenciano, por el que se regula la creación, estructura y funcionamiento de los Centros de Formación, Innovación y Recursos Educativos de la Comunidad Valenciana”. *Diari Oficial de la Generalitat Valenciana*, 8 de septiembre de 1997 (3073) pp. 14194-14198.
- Comunidad Valenciana (2005) “RESOLUCIÓN de 24 de mayo de 2005, del director general de Personal Docente de la Conselleria de Cultura, Educa-

- ción y Deporte, por la que se convoca un proceso de selección para la provisión de puestos de trabajo de asesorías de formación de los Centros de Formación, Innovación y Recursos Educativos de la Comunidad Valenciana”. *Diari Oficial de la Comunitat Valenciana*, 30 de mayo de 2005 (5016) pp. 18504-18515.
- Comunidad Valenciana (2012) “ORDEN 64/2012, de 26 de octubre, de la Conselleria de Educación, Formación y Empleo, por la que se desarrolla el Decreto 231/1997, de 2 de septiembre, por el que se regula la creación, estructura y funcionamiento de los Centros de Formación, Innovación y Recursos Educativos de la Comunitat Valenciana”. *Diari Oficial de la Comunitat Valenciana*, 31 de octubre de 2012 (6893) pp. 30581-30586.
- Comunidad Valenciana (2016) “RESOLUCIÓN de 5 de agosto de 2016, de la Conselleria de Educación, Investigación, Cultura y Deporte, por la que se crean los centros de formación, innovación y recursos educativos (CEFIRE) generales de Elche, Gandía y Sagunto y los CEFIRE específicos de Educación Inclusiva, Educación Infantil, Plurilingüismo, Ámbito Científico Tecnológico y Matemático, Ámbito Humanístico y Social y ámbito Artístico-Expresivo.” *Diari Oficial de la Comunitat Valenciana*, 16 de agosto de 2016 (7851) pp. 23398-23400.
- Comunidad Valenciana (2018) “RESOLUCIÓN de 20 de julio de 2018, de la Secretaría Autonómica de Educación e Investigación, por la que se establece el Plan anual de formación permanente del profesorado para el curso 2018-2019”. *Diari Oficial de la Generalitat Valenciana*, 30 de agosto de 2018 (8372) pp. 35326-35333.
- Confrey, J., Maloney, A. P. & Corley, A. (2014). Learning trajectories: a framework for connecting standards with curriculum. *ZDM Mathematics Education*, Issue 14, pp. 719. <https://doi.org/10.1007/s11858-014-0598-7>.
- Consejería de Educación e Investigación de la Comunidad de Madrid (2019) *Red de Formación del Profesorado*. Disponible en: <http://gestiondmejora.educa.madrid.org/> (Accedido: 13 05 2019).
- Consejería de Educación y Ciencia de la Junta de Andalucía (2002) *II Plan andaluz de formación permanente del profesorado*. Disponible en: [http://www.baiona.org/c/document\\_library/get\\_file?uuid=8a0bb623-3102-4763-8cb1-c24a32701b93&groupId=10904](http://www.baiona.org/c/document_library/get_file?uuid=8a0bb623-3102-4763-8cb1-c24a32701b93&groupId=10904) (Accedido: 13 05 2019).

- Consejería de Educación y Cultura del Gobierno del Principado de Asturias (2019) *Educastur: Proyectos de actividades de formación común 2018-2019*. Disponible en: <https://www.educastur.es/-/proyectos-de-actividades-de-formacion-comun-2018-2019> (Accedido: 13 05 2019).
- Consejería de Educación y Cultura del Gobierno del Principado de Asturias: CPR Avilés Occidente (2019) *C.P. el Pascón (Tineo) - Iniciación a la metodología ABN en infantil y primaria*. Disponible en: [http://proyectoscprgijon.es/gestoraviles/admin/lis\\_diptico.php?id=5526](http://proyectoscprgijon.es/gestoraviles/admin/lis_diptico.php?id=5526) (Accedido: 13 05 2019).
- Consejería de Educación y Cultura del Gobierno del Principado de Asturias: CPR Avilés Oriente (2018a) *Curso de iniciación al método ABN*. Disponible en: <http://www.cprgijon.es/2018/11/curso-iniciacion-al-metodo-abn.html> (Accedido: 13 05 2019).
- Consejería de Educación y Cultura del Gobierno del Principado de Asturias: CPR Avilés Oriente (2018b) *Método ABN. Profundización*. Disponible en: <http://www.cprgijon.es/2019/02/curso-metodo-abn-profundizacion.html> (Accedido: 13 05 2019).
- Consejería de Educación, Cultura, Deportes y Juventud de Castilla-La Mancha (2019) *Portal de Educación: Centro Regional de Formación del Profesorado*. Disponible en: <http://www.educa.jccm.es/profesorado/es/crfp/calendario-acciones-formativas> (Accedido: 13 05 2019).
- De Lange, J. (2003). Mathematics for literacy. In B.L. Madison, & L.A. Steen (Eds.), *Quantitative literacy. Why numeracy matters for schools and colleges* (pp. 75–89). Princeton, NJ: The National Council on Education and the Disciplines.
- Departamento de Educación del País Vasco (2019a) *Innovación Educativa: Prest\_Gara*. Disponible en: <http://www.euskadi.eus/personal-docente-formacion-prest-gara/web01-a3htreba/es/> (Accedido: 13 05 2019).
- Departamento de Educación del País Vasco (2019b) *Formación del profesorado > STEAM (Science, Technology, Engineering, Art & Mathematics)*. Disponible en: <http://www.euskadi.eus/personal-docente-formacion-prest-gara/web01-a3htreba/es/> (Accedido: 13 05 2019).
- Díez, A., Cañadas, M.C., Picado, M., Rico, L. y Castro, E. (2016). Magnitudes y su medida en el currículo de primaria en España (1945-2013). *Profesorado*.

- Revista de Currículum y Formación del Profesorado*, 20(1), enero-abril, 341-363.
- European Schoolnet (2018). Science, Technology, Engineering and Mathematics Education Policies in Europe. Scientix Observatory report. October 2018, European Schoolnet, Brussels.
- Extremadura (2007) “DECRETO 69/2007, de 10 de abril, por el que se regula el sistema de formación permanente del profesorado en la Comunidad Autónoma de Extremadura”. *Diario Oficial de Extremadura*, 17 de abril de 2007 (44) pp. 7023-7033.
- Extremadura (2016) “Orden de 25 de noviembre de 2016, por la que se aprueba el Plan Marco de Formación Permanente del Profesorado de la Comunidad Autónoma de Extremadura”. *Diario Oficial de Extremadura*, 30 de noviembre de 2016 (230) pp. 31187-31197.
- Federación Española de Sociedades de Profesores de Matemáticas (FESPM) (n.d) Página web. Disponible en: <http://www.fespm.es/> (Accedido 13 05 2019).
- Federación Española de Sociedades de Profesores de Matemáticas (FESPM) (2018) Jornadas para el Aprendizaje y la Enseñanza de las Matemáticas (JAEM): Un atlántico que suma. Disponible en: <https://www.19jaem.org/> (Accedido 13 05 2019).
- Fernández, C., García, O. y Galindo, E. (2017). *Escuela o barbarie*. Madrid: Ediciones Akal.
- Ferrando, I., Albarracín, L., Gallart, C., García-Raffi, L. M. y Gorgorió, N. (2017). Análisis de los modelos matemáticos producidos durante la resolución de problemas de Fermi. *Boletim de Educação Matemática*, 31(57), 220-242.
- Ferrando, I., Segura, C. y Pla-Castells, M., (2017). Nuevas metodologías para la enseñanza de las Matemáticas: análisis crítico. Jornades CTEM de la comunitat valenciana.
- Flores, P. (2007), “Profesores de matemáticas reflexivos: formación y cuestiones de investigación”, *PNA*, 1(4), pp. 139-359.
- Freudenthal, H. (1991) *Revisiting mathematics education*. Kluwer, Dordrecht. China lectures.

- Freudenthal, H. (1968). Why to teach mathematics so as to be useful. *Educational studies in mathematics*, 1(1-2), 3-8.
- Freudenthal, H. (1985), “Wat wordt er niet getoetst, en kan dat wel?”, *Euclides*, 60(8 / 9), pp. 303-305.
- Fryer, R. G., (2018). The “Pupil” Factory: Specialization and the Production of Human Capital in Schools. *American Economic Review*, 108(3), 616-56.
- Gallart, C. (2016). La modelización como herramienta de evaluación competencial. Tesis doctoral, Universidad de Valencia.
- García, F. J., Gascón, J., Ruiz, L., y Bosch, M. (2006). Mathematical modelling as a tool for the connection of school mathematics. *ZDM*, 38(3), 226-246.
- Generalitat de Catalunya (2019) *XTEC-Xarxa Telemàtica Educativa de Catalunya*. Disponible en <http://xtec.gencat.cat/ca/formacio/info-general/cercador-activitats/> (Accedido: 13 05 2019).
- Generalitat de Catalunya (n.d.) *Ateneu: Com ajudar a desenvolupar la competència matemàtica*. Disponible en <http://ateneu.xtec.cat/wiki/form/wikiexport/fic/cma/cma02/guia> (Accedido: 13 05 2019).
- Generalitat Valenciana (2018) CEFIRE Disponible en: <http://www.ceice.gva.es/es/web/formacion-profesorado/cefire> (Accedido: 13 05 2019).
- Generalitat Valenciana (2019) CEFIRE Científic, Tecnològic i Matemàtic. Disponible en: <http://mestreacasa.gva.es/web/cefireambitctm/home> (Accedido: 13 05 2019).
- Gobierno de Aragón (n.d.) Centro de Profesorado Ana Abarca de Bolea. Disponible en: <http://cifeaab.catedu.es/documentos-para-descargar/> (Accedido 13 05 2019).
- Gobierno de Canarias (2015) Plan canario de formación del profesorado. Trienio 2015-2018. Disponible en: <http://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/campus/doc/doc/programas/2015-18/secciones/seccion01.html> (Accedido 13 05 2019).
- Gobierno de Canarias (2018) “Resolución de la Dirección General de Ordenación, Innovación y Promoción Educativa, por la que se autorizan los seminarios de trabajo durante el curso académico 2018-2019” *Resolución interna Consejería de Educación, 15 de octubre de 2018*.

- Gobierno de Canarias (2018) “Resolución de la Dirección General de Ordenación, Innovación y Promoción Educativa, por la que se autorizan los grupos de trabajo durante el curso académico 2018-2019” *Resolución interna Consejería de Educación, 15 de octubre de 2018*.
- Gobierno de Cantabria (2014) *Plan regional de formación permanente del profesorado 2014-2015*. Disponible en [http://www.cepdecantabria.es/images/Plan\\_Regional\\_de\\_Formaci%C3%B3n\\_Permanente\\_del\\_Profesorado\\_2014-2015.pdf](http://www.cepdecantabria.es/images/Plan_Regional_de_Formaci%C3%B3n_Permanente_del_Profesorado_2014-2015.pdf) (Accedido: 13 05 2019).
- Gobierno de Cantabria (2015) *Plan regional de formación permanente del profesorado 2015/2019*. Disponible en: [https://www.educantabria.es/docs/anuncios\\_y\\_convocatorias/nov\\_dic\\_2015/plan\\_profesorado\\_2.pdf](https://www.educantabria.es/docs/anuncios_y_convocatorias/nov_dic_2015/plan_profesorado_2.pdf) (Accedido: 13 05 2019).
- Gobierno de Cantabria (2017) *Plan anual de formación permanente del profesorado 2017-2018*. Disponible en [https://www.educantabria.es/docs/profesorado/formacion\\_permanente/plan\\_formacion/Plan\\_Anual\\_de\\_Formacion\\_Permanente\\_del\\_Profesorado\\_def\\_2017-2018.pdf](https://www.educantabria.es/docs/profesorado/formacion_permanente/plan_formacion/Plan_Anual_de_Formacion_Permanente_del_Profesorado_def_2017-2018.pdf) (Accedido: 13 05 2019).
- Gobierno de Cantabria (2018) *Plan anual de formación permanente del profesorado 2018-2019*. Disponible en [https://www.educantabria.es/docs/formacion/Plan\\_Anual\\_Formacion\\_Permanente\\_Profesorado\\_18-19.pdf](https://www.educantabria.es/docs/formacion/Plan_Anual_Formacion_Permanente_Profesorado_18-19.pdf) (Accedido: 13 05 2019).
- Gobierno de España. Ministerio de Educación y Formación Profesional (2019) Formación del profesorado Melilla. Disponible en: <http://www.educacion-yfp.gob.es/educacion-mecd/ba/ceuta-melilla/melilla/formacion-profesorado.html> (Accedido 13 05 2019).
- Gobierno de España. Ministerio de Educación y Formación Profesional (2019) Formación del profesorado Ceuta. Disponible en: <http://www.educacion-yfp.gob.es/educacion-mecd/eu/ba/ceuta-melilla/ceuta/formacion-profesorado/formacion.html> (Accedido 13 05 2019).
- Gobierno de España. Ministerio de Educación y Formación Profesional (n.d.) INTEF: Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del Profesorado. Disponible en: <https://intef.es/> (Accedido 13 05 2019).
- Gobierno de España. Ministerio de Educación y Formación Profesional (2018) *Programación, robótica y pensamiento computacional en el aula. Situación en*

- España y propuesta normativa*. INTEF: Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del Profesorado.
- Gobierno de España. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte (2014) AprendeINTEF. Cursos tutorizados en línea. REA. Recursos Educativos Abiertos para la enseñanza de las Matemáticas. Disponible en: <http://formacion.intef.es/course/view.php?id=488> (Accedido 13 05 2019).
- Gobierno de España. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte (2014) Blog INTEF REA. Recursos Educativos Abiertos. *Recursos Educativos Abiertos para la enseñanza: búsqueda, creación y puesta en común de recursos a través de cinco cursos en línea para la formación de profesores*. Disponible en: <https://intef.es/Blog/recursos-educativos-abiertos-para-la-ensenanza-busqueda-creacion-y-puesta-en-comun-de-recursos-a-traves-de-cinco-cursos-en-linea-para-la-formacion-de-profesores/> (Accedido 13 05 2019).
- Gobierno de España. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte (2013) Blog INTEF REA. Recursos Educativos Abiertos para la enseñanza de las Matemáticas. Disponible en: <http://reamatematicasintef.blogspot.com/> (Accedido 13 05 2019).
- Gobierno de España. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte (2015) AprendeINTEF. Cursos tutorizados en línea. REA. Recursos Educativos Abiertos para la enseñanza de las Matemáticas, las Ciencias y la Tecnología. Disponible en: <http://formacion.intef.es/course/view.php?id=251> (Accedido 13 05 2019).
- Gobierno de la Rioja (n.d.) La Rioja.org, el Gobierno de la Rioja en Internet. Disponible en: <https://www.larioja.org/edu-innovacion-form/es> (Accedido 13 05 2019).
- Gobierno de Navarra (n.d.) Formación del Profesorado. Disponible en: <http://formacionprofesorado.educacion.navarra.es/web/> (Accedido 13 05 2019).
- Godino, J. (2011), Indicadores de la idoneidad didáctica de procesos de enseñanza y aprendizaje de las matemáticas en *XIII Conferência Interamericana de Educação Matemática (CIAEM-IACME)*, Recife, Brasil, pp. 1-20.
- González-Calero, J. A., Arnau, D., Puig, L. y Arevalillo-Herráez, M. (2015). Intensive scaffolding in an intelligent tutoring system for the learning of algebraic word problem solving. *British Journal of Educational Technology*, 46(6), 1189-1200.

- Gorgorió, N. y Albarracín, L. (2019). El conocimiento matemático previo a la formación inicial de los maestros: necesidad y concreción de una prueba. En Libro RED-8. Publicaciones de la Universidad de Salamanca.
- Gorgorió, N., Albarracín, L. y Laine, A. (2019). Impact of access requirements on the mathematical knowledge of students admitted to Primary Teaching programs: a micro-comparative study. *Proceedings CERME 11*.
- Govern de les Illes Balears (2004) *Pla quadriennal de Formació Permanent del Professorat*. Disponible en: [http://weib.caib.es/Formacio/planificacio/pla\\_formacio0408.pdf](http://weib.caib.es/Formacio/planificacio/pla_formacio0408.pdf) (Accedido 13 05 2019).
- Govern de les Illes Balears (2012) *Pla de formació permanent del professorat de les Illes Balears*. Disponible en: <http://weib.caib.es/Formacio/planificacio/pla-de-formacio-permanent-del-professorat-2012-16.pdf> (Accedido 13 05 2019).
- Govern de les Illes Balears (2016) *Pla de formació del professorat 2016-2020*. Disponible en [http://weib.caib.es/Formacio/planificacio/pla\\_formacio\\_2016\\_2020.pdf](http://weib.caib.es/Formacio/planificacio/pla_formacio_2016_2020.pdf) (Accedido 13 05 2019).
- Govern de les Illes Balears (2019) *Weib: el web educatiu de les Illes Balears*. Disponible en: <http://weib.caib.es/> (Accedido 13 05 2019).
- Gravemeijer, K. (1982), “Het gebruik van contexten”, *Willem Bartjens*, 1(4), pp. 192-197.
- Grupo Cero (1984). De 12 a 16. *Un proyecto de currículum de matemáticas*. Valencia: Nau llibres.
- Gueudet, G., (2008). Investigating the secondary-tertiary transition. *Educational Studies in Mathematics*, 6(73), pp. 237-254.
- Iglesias, D., Perezagua, F., Ávila, O., Pardillo, V., Tercero, R., De la Torre, D. y Catalán, V. “Escenarios de aprendizaje del siglo XXI”, en Gobierno de Aragón (eds.) *I Encuentro Interautonómico de Asesorías de Formación Educativa*. Zaragoza, 16-17 de enero de 2019. Disponible en: <https://www.eiafe.es/resumen-del-eiafe> (Accedido: 13 05 2019).
- Illes Balears (2016) “Resolució del conseller d’Educació i Universitat de dia 16 de març de 2016 per la qual s’aprova el Pla quadriennal de formació perma-

- ment del professorat 2016-2020” *Butlletí Oficial de les Illes Balears*, 31 de març de 2016 (45) pp. 8900-8918.
- INEE, (2012). TEDS-M Informe Español Estudio Internacional sobre la formación en matemáticas de los maestros. [En línea] Available at: <http://www.educacionyfp.gob.es/inee/evaluaciones-internacionales/otros-estudios/teds-m-informe-espanol.html>.
- Institutos Geogebra (n.d.) Disponible en: <http://institutosgeogebra.es/> (Accedido 13 05 2019).
- ISTE, (2016). *International Society for Technology in Education Standards for Students*. Eugene, OR.
- Jarauta, B., Colén Riau, M., Barredo, B. y Bozu, Z. (2014). La formación permanente del profesorado en Cataluña. Análisis de los referentes legales. *Bordón. Revista de Pedagogía*, 66(4).
- Jarauta, B., Colén, M., Barredo, B. y Bozu, Z. (2014). La formación permanente del profesorado en Cataluña. Análisis de los referentes legales. *Bordón. Revista de Pedagogía*, 66(4).
- Junta de Andalucía (2014) Orden de 31 de julio de 2014, por la que se aprueba el III Plan Andaluz de Formación Permanente del Profesorado. Boletín Oficial de la Junta de Andalucía, 2 de septiembre de 2014 (170) pp. 9-34.
- Junta de Andalucía (2015) Anexo I, Area Matemáticas, en *Orden de 17 de marzo de 2015, por la que se desarrolla el currículo de la Educación Primaria en Andalucía*. Recuperado de <http://www.juntadeandalucia.es/educacion/descargasrecursos/curriculo-primaria/matematicas.html>.
- Junta de Castilla y León (2018) *Educacyl Portal de Educación: XIV Congreso Regional de Matemáticas en Castilla y León*. Disponible en: <https://www.educa.jcyl.es/es/congresos/xiv-congreso-regional-matematicas-castilla-leon> (Accedido: 13 05 2019).
- Junta de Castilla y León (2019) *Educacyl Portal de Educación*. Disponible en: <https://www.educa.jcyl.es/profesorado/es/formacion-profesorado/plan-autonomico-formacion-permanente-profesorado> (Accedido: 13 05 2019).
- Junta de Extremadura (2019) Educarex. Disponible en: <https://inscripciones.educarex.es> (Accedido: 13 05 2019).

- Kaiser, G. (2014). Mathematical modelling and applications in education. *Encyclopedia of mathematics education*. Springer, Dordrecht. (pp. 396-404).
- Kaput, J. J., 1999. Teaching and learning a new algebra. En: E. Fennema & T. Romberg, edits. *Mathematics classrooms that promote understanding*. Mahwah, N.J.: Erlbaum Associated, Publishers, pp. 133-155.
- Kim, H., Choi, H., Han, J., y So, H. (2012). Enhancing teachers' ICT capacity for the 21st century learning environment: three cases of teacher education in Korea. *Australasian Journal of Educational Technology*, 28(6), 965–982.
- La Rioja (2008) “Orden 9/08, de 28 de abril, de la Consejería de Educación, Cultura y Deporte, por la que se regulan las actividades de formación permanente del profesorado de los centros docentes donde se imparten enseñanzas no universitarias”. *Boletín Oficial de la Rioja*, 6 de mayo de 2008 (61) pp. 3074-3084.
- Lesh, R. y Clarke, D. (2000), “Formulating operational definitions of desired outcomes of instruction in mathematics and science education”, en *Handbook of Research Design in Mathematics and Science Education*, ed. A. Kelly y R. Lesh, Lawrence Erlbaum & Associates, Mahwah, New Jersey, pp. 113-150.
- Lesh, R., Hoover, M., Hole, B., Kelly, A., y Post, T. (2000), Principles for Developing Thought-Revealing Activities for Students and Teachers, en A. Kelly y R. Lesh (eds.), *Research Design in Mathematics and Science Education*, Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, New Jersey, 591-646.
- Maaß K., Gurlitt J. (2011), LEMA – “Professional Development of Teachers in Relation to Mathematical Modelling” en *Trends in Teaching and Learning of Mathematical Modelling. International Perspectives on the Teaching and Learning of Mathematical Modelling*, vol 1, ed. G. Kaiser, W. Blum, R. Borromeo-Ferri, G. Stillman, Springer, Dordrecht, pp. 629-639.
- Marcellán, F. (2017). Propuestas de la Real Sociedad Matemática Española para el Pacto Educativo. *La Gaceta de la RSME*, 20(2), pp. 235-242.
- MECD, (2003). Real decreto 832/2003, de 27 de junio, por el que se establece la ordenación general y las enseñanzas comunes del Bachillerato., s.l.: s.n.
- MECD, (2004). Real Decreto 116/2004, de 23 de enero, por el que se desarrolla la ordenación y se establece el currículo de la Educación Secundaria Obligatoria, Boletín Oficial del Estado (10 febrero 2004)., s.l.: s.n.

- MEC (2007). *Real Decreto 1467/2007*, de 2 de noviembre, por el que se establece la estructura del bachillerato y se fijan sus enseñanzas mínimas., s.l.: s.n.
- MEC (2014). Real Decreto 126/2014, de 28 de febrero, por el que se establece el currículo básico de la Educación Primaria.
- MEC (2015). Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato. , s.l.: s.n.
- MEC (2016). Real Decreto 1631/2006, de 29 de diciembre, por el que se establecen las enseñanzas mínimas correspondientes a la Educación Secundaria Obligatoria. Boletín Oficial del Estado, número 5, de 5 de enero de 2007. , s.l.: s.n.
- MEFP (2019). *EDUCAbase. Enseñanzas no universitarias*. [En línea] Available at: <http://estadisticas.mecd.gob.es/EducaDynPx/educabase/index.htm?type=pcaxis&path=/Educacion/Alumnado/Matriculado/Series18/SeriesAlumnado&file=pcaxis&l=s0> [Último acceso: 10 marzo 2019].
- MEFP (2019). *Sistema Estatal de Indicadores de la Educación*. [En línea] Available at: <http://www.educacionyfp.gob.es/servicios-al-ciudadano-mecd/estadisticas/educacion/indicadores-publicaciones-sintesis/sistema-estatal-indicadores.html> [Último acceso: 10 marzo 2019].
- Ministerio de Educación y Formación Profesional (2018) “Resolución de 21 de noviembre de 2018, de la Secretaría de Estado de Educación y Formación Profesional, por la que se convocan plazas para la realización de cursos de formación en red para la formación permanente del profesorado que ejerce en niveles anteriores al universitario y del curso de formación sobre el desarrollo de la Función Directiva. Año 2019”. *Secretaría de Estado de Educación y Formación Profesional*.
- Ministerio de Educación, Cultura y Deporte (2014). *TALIS 2013. Estudio Internacional de la Enseñanza y el Aprendizaje. Informe Español*. Madrid: Secretaría General Técnica.
- Montejo-Gámez, J. y Amador-Saelices, M. V. (2017), ¿Cuánto cuesta emprender?: Un proyecto para aprender matemáticas desde un enfoque por competencias, en *VIII Congreso Iberoamericano de Educación Matemática. Libro de actas*, FESPM, Andújar, pp. 500-508.

- Naciones Unidas (2015). *Resolución aprobada por la Asamblea General del 25 de septiembre de 2015. Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*, s.l.: s.n.
- National Council of Teacher of Mathematics (NCTM) (2018) *Building STEM Education on a Sound Mathematical Foundation A joint position statement on STEM from the National Council of Supervisors of Mathematics and the National Council of Teachers of Mathematics*. Disponible en: <https://www.mathedleadership.org/docs/resources/positionpapers/NCSMPositionPaper17.pdf> (Accedido 13 05 2019).
- National Research Council, (2011). *Successful K-12 STEM Education: Identifying Effective Approaches in Science, Technology, Engineering, and Mathematics*. Washington, DC: The National Academies Press.
- Navío Gámez, A. (2005). *Las competencias profesionales del formador*. Barcelona: Ediciones Octaedro.
- NCTM (2000). *Principles and Standards for School Mathematics*. Reston, Virginia: National Council of Teachers of Mathematics.
- Niss, M. (1993), “Assessment in Mathematics Education and its effects: and introduction”, en *Investigations into Assessment in Mathematics Education*, ed. M. Niss, Kluwer Academic Publisher, Aahrus, pp. 1-30.
- Niss, M. (1999). Aspects of the nature and state of research in mathematics education. *Educational Studies in Mathematics*, 40(1), 1-24.
- Niss, M., y Højgaard, T. (Eds.) (2011). *Competencies and Mathematical Learning: Ideas and Inspiration for the development of mathematics teaching and learning in Denmark*. Roskilde: IMFUFA/NSM, Roskilde University.
- Nortes, A. y Nortes, R. (2013). Formación inicial de maestros: un estudio en el dominio de las matemáticas. Profesorado: Revista de currículum y formación del profesorado, 17(3), 185-200.
- Nortes, R. y Nortes, A. (2018). ¿Tienen los futuros maestros los conocimientos matemáticos elementales? En L. J. Rodríguez-Muñoz, L. Muñoz-Rodríguez, A. Aguilar-González, P. Alonso, F. J. García-García y A. Bruno (Eds.), *Investigación en Educación Matemática XXII* (pp. 397-406). Gijón: SEIEM.

- Nortvedt, G. A. y Buchholtz, N. (2018), "Assessment in mathematics education: responding to issues regarding methodology, policy, and equity", *ZDM*, 50, pp. 555-570.
- OCDE (2002). *Conocimientos y destrezas para la vida. Primeros resultados del Proyecto PISA 2000. Resumen de resultados*. Madrid: MECD-InCE.
- OCDE (2011). *Statistics Canada Literacy for Life: Further results from the Adult Literacy and Life Skills Survey*. s.l.:OECD Publishing.
- OCDE (2013). *Marcos y pruebas de evaluación de PISA 2012: Matemáticas, Lectura y Ciencias*. Madrid: MECD.
- OCDE (2014), *Talis 2013 Results: An International Perspective on Teaching and Learning*, OECD Publishing. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264196261-en>.
- OCDE (2018). *Marco de Competencia Global. Estudio PISA. Preparar a nuestros jóvenes para un mundo inclusivo y sostenible*. Madrid: MECD.
- OCDE (2019). International Curriculum Analysis. [En línea] Available at: <http://www.oecd.org/education/2030/international-curriculum-analysis.htm>.
- OCDE (2019). *OECD. Better policies for better lives. PISA Programme for International Student Assessment*. <http://www.oecd.org/pisa/aboutpisa/>.
- Ortega-Pons, M. (2018). Un modelo de enseñanza de la modelización para trabajar las funciones elementales con el uso de datos reales y tabletas. Tesis doctoral, Universidad de Valencia.
- País Vasco (2013) "LEY 1/2013, de 10 de octubre, de Aprendizaje a lo Largo de la Vida". Boletín oficial del País Vasco, 17 de octubre de 2013 (199), pp. 1-30
- Pajares, R., Sanz, A., Rico, L. (2000), *Aproximación a un modelo de evaluación: el informe PISA 2000*. MECD, Madrid.
- Pérez, E. S., García-Raffi, L., y Pérez, J. S. (1999). Introducción de las técnicas de modelización para el estudio de la física y de las matemáticas en los primeros cursos de las carreras técnicas. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 17(1), 119-129.
- Piaget, J. (1952). *The Child's Conception of Number*. New York: Humanities Press.
- Pickton, D. W., y Wright, S. (1998), "What's SWOT in strategic analysis?", *Strategic change*, 7(2), pp. 101-109.

- PISA, (2015). Informe Español. [En línea] Available at: <https://www.mecd.gob.es/dctm/inee/internacional/pisa-2015/pisa2015preliminarok.pdf?documentId=0901e72b8228b93c>.
- Pollak, H. O. (1968). On some of the problems of teaching applications of mathematics. *Educational Studies in Mathematics*, 1(1-2), 24-30.
- Pólya, G. (1989). *Cómo plantear y resolver problemas*. México DF: Editorial Trillas. (Reeditado de *How to Solve it*, Princeton University Press, 1954).
- Principado de Asturias (2018) “Resolución de 22 de diciembre de 2017, de la Consejería de Educación y Cultura, por la que se aprueba el Plan Regional de Formación Permanente del Profesorado 2017-2018”. *Boletín oficial del Principado de Asturias*, 4 de enero de 2018 (3).
- Principado de Asturias (2018) “Resolución de 31 de julio de 2018, de la Consejería de Educación y Cultura, por la que se aprueba la convocatoria de actividades de formación del profesorado e innovación educativa en centros docentes para el año escolar 2018-2019”. *Boletín oficial del Principado de Asturias*, 3 de septiembre de 2018 (205).
- Puig, L. (2008). Presencia y ausencia de la resolución de problemas en la investigación y el currículo. Por aparecer En *Actas del XII Simposio de la Sociedad Española de Investigación en Educación Matemática*, XIX Seminário de Investigaçao em Educaçao Matemática, XVIII Encontro de Investigaçao em Educaçao Matemática.
- Puig, L., y Cerdán, F. (1995). Problemas y problemas aritméticos elementales. En *Problemas Aritméticos Escolares*. Madrid: Síntesis. pp. 13-42.
- Ramiro i Roca, E. (2002). CEP, CEFIRE, ¿CÉFIRO? en el País Valenciano. *Conceptos de Educación*, 4. Consultado en [http://www.quadernsdigitals.net/index.php?accionMenu=hemeroteca.VisualizaArticuloIU.visualiza&articulo\\_id=2220](http://www.quadernsdigitals.net/index.php?accionMenu=hemeroteca.VisualizaArticuloIU.visualiza&articulo_id=2220).
- Real Sociedad Matemática Española (RSME) (2018) Escuela Miguel de Guzmán. Disponible en: <https://www.rsme.es/category/actividades-cientificas-2/escuela-miguel-de-guzman/> (Accedido 13 05 2019).
- RedUNE (n.d.) Afectados por CREA. Disponible en: <http://afectadoscrea.org/es/comunicados-de-prensa/> (Accedido: 13 05 2019).
- Región de Murcia (2003) “Decreto nº 42/2003, de 9 de mayo, por el que se regula la planificación, estructura y organización de la formación permanente

- del Profesorado de la Región de Murcia”. *Boletín Oficial de la Región de Murcia*, 20 de mayo de 2003 (114) pp. 10003-10011.
- Región de Murcia (2013) “Orden de 12 de julio de 2013, de la Consejería de Educación, Formación y Empleo, por la que se suprimen ocho Centros de Profesores y Recursos y se establece la estructura, organización y funcionamiento del Centro de Profesores y Recursos Región de Murcia”. *Boletín Oficial de la Región de Murcia*, 19 de julio de 2013 (166) pp. 29293-29301.
- Región de Murcia (2015) MURCIA EDUCARM Portal Educativo Disponible en: [www.educarm.es/placentrodeprofesores](http://www.educarm.es/placentrodeprofesores). (Accedido 13 05 2019).
- Región de Murcia (2018) “Orden de 30 de octubre de 2018 de la Consejería de Educación, Juventud y Deportes, por la que se aprueba el Plan Trienal de Formación Permanente del Profesorado 2018-2019”. *Boletín Oficial de la Región de Murcia*, 10 de noviembre de 2018 (260) pp. 28402-28436.
- Región de Murcia (2018) “Resolución de 14 de mayo de 2018, de la dirección General de Planificación Educativa y Recursos Humanos por la que se regulan la estructura, criterios de selección de actividades, acreditación de superación y certificación de los itinerarios de formación preferentes.” *Boletín Oficial de la Región de Murcia*, 30 de mayo de 2018 (123) pp. 13782-13803.
- Región de Murcia (2018) “Resolución de la Directora General de Planificación Educativa y Recursos Humanos por la que se publica la selección definitiva de proyectos de innovación educativa aptos y no aptos para el curso escolar 2018-2019”. *Resolución interna Consejería de Educación, Juventud y Deportes*, 22 de noviembre de 2018.
- Rico, L. (1990), “Diseño Curricular en Educación matemática: Una perspectiva cultural”, en *Teoría y Práctica en Educación Matemática*, ed. S. Llinares, V. Sánchez, Editorial Alfar, Sevilla, pp. 17-62.
- Ruiz de Gauna, J., García, J., & Sarasua, J. (2013). Perspectiva de los alumnos de Grado de Educación Primaria sobre las Matemáticas y su enseñanza. *Números*. *Revista de Didáctica de las Matemáticas*, 82, 5-15.
- Sandall, F., (2016). Report on Implementing Maths – No Problem! in Primary Schools Critical Success Factors. [En línea] Available at: <https://mathsno-problem.com/mathematics/mnpcustom/download.php?pdf=Report-on-Implementing-Maths-No-Problem.pdf>.

- Schoenfeld, A. H. (1985). *Mathematical problem solving*. Orlando: Academic Press.
- Schoenfeld, A. H. (1992). Learning to think mathematically: Problem solving, metacognition, and sense-making in mathematics. In D. Grouws (Ed.), *Handbook for Research on Mathematics Teaching and Learning* (pp. 334-370). New York: MacMillan.
- Souto Gonzáles, J. M. (2002). La calidad de la enseñanza y la formación del profesorado. El caso de la Comunidad Valenciana. *Conceptos de Educación*, 4. Consultado en [http://www.quadernsdigitals.net/index.php?accionMenu=hemeroteca.VisualizaArticuloIU.visualiza&articulo\\_id=2214](http://www.quadernsdigitals.net/index.php?accionMenu=hemeroteca.VisualizaArticuloIU.visualiza&articulo_id=2214).
- Souto Gonzáles, J. M. (2002). La calidad de la enseñanza y la formación del profesorado. El caso de la Comunidad Valenciana. *Conceptos de Educación*, 4. Consultado en [http://www.quadernsdigitals.net/index.php?accionMenu=hemeroteca.VisualizaArticuloIU.visualiza&articulo\\_id=2214](http://www.quadernsdigitals.net/index.php?accionMenu=hemeroteca.VisualizaArticuloIU.visualiza&articulo_id=2214).
- Sowell, E. (1989). Effects of manipulative materials in mathematics instruction. *Journal for Research in Mathematics Education*, 20(5), 498-505. <http://dx.doi.org/10.2307/749423>.
- Stylianides, G. J., Stylianides, A. J. & Weber, K., (2017). Research on the teaching and learning of proof: Taking stock and moving forward. En: J. Cai, ed. *First compendium for research in mathematics education*. Reston, VA.
- Teitelbaum, M S. (2014) The Myth of the Science and Engineering Shortage, *The Atlantic*, 19 de marzo. Disponible en: <https://www.theatlantic.com/education/archive/2014/03/the-myth-of-the-science-and-engineering-shortage/284359/> (Accedido 13 05 2019).
- TIMSS, (2011). International Results in Mathematics. [En línea] Available at: <https://timssandpirls.bc.edu/timss2011/international-results-mathematics.html>.
- TIMSS, (2015). Informe Español. [En línea] Available at: <https://www.mecd.gob.es/dctm/inee/internacional/timss2015final.pdf?documentId=0901e72b822be7f5>.

- TIMSS, (2015). International Results in Mathematics. [En línea] Available at: <http://timssandpirls.bc.edu/timss2015/international-results/wp-content/uploads/filebase/full%20pdfs/T15-International-Results-in-Mathematics.pdf>.
- Treffers, A. (1987). *Three dimensions (a model of goal and theory description in mathematics instruction - the Wiskobas Project)*. Dordrecht: D. Reidel.
- UNESCO, 2015, *La política de la evaluación de la UNESCO*, UNESCO, París. Recuperado de [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000253907\\_spa/PDF/253907spa.pdf.multi](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000253907_spa/PDF/253907spa.pdf.multi).
- Universidad de Cantabria (n.d.) Centro Internacional de Encuentros Matemáticos (CIEM) Disponible en <https://www.ciem.unican.es/> (Accedido 13 05 2019).
- Van den Heuvel-Panhuizen, M. (1996), “Assessment and realistic mathematics education”, CD-β Press / Freudenthal Institute, Utrecht University, Utrecht.
- Van den Heuvel-Panhuizen, M. y Drijvers, P. (2014). Realistic mathematics education. En S. Lerman (Ed.) *Encyclopedia of Mathematics Education* (pp. 521-525). Amsterdam: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-4978-8>.
- Varquero, A., (2018). Recomendaciones internacionales para la mejora de competencias en educación obligatoria en España. *Avances en Supervisión Educativa*, Issue 29, p. <https://doi.org/10.23824/ase.v0i29.613>.
- Villani, C. & Torossian, Ch., (2018). 21 mesures pour l'enseignement des mathématiques. [En línea] Available at: [http://cache.media.education.gouv.fr/file/Fevrier/19/0/Rapport\\_Villani\\_Torossian\\_21\\_mesures\\_pour\\_enseignement\\_des\\_mathematiques\\_896190.pdf](http://cache.media.education.gouv.fr/file/Fevrier/19/0/Rapport_Villani_Torossian_21_mesures_pour_enseignement_des_mathematiques_896190.pdf).
- Xunta de Galicia. Consellería de Cultura , Educación e Ordenación Universitaria (2015) *Plan anual de formación del profesorado 2015/2016*. Disponible en [https://www.edu.xunta.gal/portal/sites/web/files/plananual\\_2015\\_2016.pdf](https://www.edu.xunta.gal/portal/sites/web/files/plananual_2015_2016.pdf) (Accedido: 13 05 2019).
- Xunta de Galicia. Consellería de Educación, Universidades e Formación Profesional (2019) *fprofe: Formación del profesorado*. Disponible en: <https://www.edu.xunta.es/fprofe/preparaConsultaPublica.do> (Accedido: 13 05 2019).
- Yerushalmy, M. (2005). Functions of interactive visual representations in interactive mathematical textbooks. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, 10, pp. 217–249.

## 6. ANEXO: PLANES DE FORMACIÓN DE COMUNIDADES AUTÓNOMAS<sup>13</sup>

Cada comunidad autónoma crea unos planes de formación dirigidos a profesorado en activo, en los cuales se marcan unas líneas prioritarias y se ofertan una serie de acciones formativas gratuitas. Por regla general, existen centros o institutos de formación, que pueden estar organizados en red o no, desde los cuales se coordinan las acciones. En numerosas ocasiones aparecen ligados al concepto de innovación. En los siguientes epígrafes se recogen las tendencias en la oferta específica de Matemáticas o en las que se encuentra de forma implícita (es el caso de la forma de trabajo STEAM: *Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics*) durante los primeros años del siglo XXI.

### Comunidad de Madrid

Regulada por el Decreto 120/2017 (Comunidad de Madrid, 2017) y la Orden 2453/2018 (Comunidad de Madrid, 2018), incorporan el concepto de innovación y adoptan la denominación de formación permanente. Los planes de formación se encuentran publicados en la web (Consejería de Educación e Investigación de la Comunidad de Madrid, 2019), y también toda la oferta formativa desde el 2008 hasta el 2018. Se organizan en una red de centros territoriales y uno regional. La oferta formativa de Matemáticas en primaria es abundante (por ejemplo, 39 cursos en el centro territorial Capital), pero en secundaria la oferta es escasa y no se suelen impartir por falta de inscripción (por ejemplo, de 11 cursos en el centro territorial Capital, se anularon 9 por este motivo). La excepción la constituyen algunos cursos impartidos por profesorado universitario de la Universidad Autónoma de Madrid.

### País Vasco

Se halla regulada en la Ley 1/2013, de 10 de octubre, de Aprendizaje a lo Largo de la Vida (País Vasco, 2013). Se pueden encontrar publicadas en línea dos convocatorias, la del curso 2017-2018 y la del 2018-2019. No hay histórico de años anteriores. Se llama Prest Gara (Departamento de Educación del País Vasco, 2019a) y contiene un programa especial STEM (Departamento

---

<sup>13</sup> El orden de las Comunidades es el mismo que en la tabla 4.

de Educación del País Vasco, 2019a), dentro de la formación en centros. Hay unos 16 cursos relacionados directamente con las matemáticas, en ambas convocatorias.

### **Castilla-La Mancha**

En el Decreto 78/2005 del Diario Oficial de Castilla-La Mancha (2005) se reguló la formación permanente del profesorado en esta comunidad. Aunque mediante otro decreto (Castilla-La Mancha, 2012), aduciendo falta de recursos económicos, se simplificó la red por estar demasiado atomizada y abogaron por la formación *online*. En su página web no hay ninguna referencia a cursos específicos de matemáticas. Hay, no obstante, en el curso 2017-2018 (Consejería de Educación, Cultura, Deportes y Juventud de Castilla-La Mancha, 2019) unos itinerarios de didáctica matemática dentro de cultura digital (para primaria, uno de iniciación y otro medio; en secundaria hay uno; y en infantil hay otro. También hay dos rutas, en ambos niveles, donde se promociona que la robótica ayuda a crear entornos de aprendizaje de las matemáticas, la ciencia y la tecnología). En el congreso EIAFE (Zaragoza, 2019) tuvo lugar una ponencia (Molero et al., 2019) en la que se señaló la necesidad del pensamiento crítico y se proponía el desarrollo de competencias STEAM, poniendo especial énfasis en la ‘A’ de ‘arte’ (no en la ‘M’ de ‘matemáticas’).

### **Principado de Asturias**

En el plan regional de formación 2017-2018 (Principado de Asturias, 2018), hay dos líneas de formación en las que se podrían enmarcar acciones formativas relacionadas con las matemáticas: Actualización científica y didáctica y Actualización en didácticas específicas. En el plan regional de 2018-2019 (Principado de Asturias, 2018), parece que cambia el modelo y ya no aparecen estas líneas de formación. Sin embargo, dentro de lo que llaman “Proyectos de Actividad de Formación Común” hay un plan STEAM (Consejería de Educación y Cultura del Gobierno del Principado de Asturias, 2019). Las matemáticas únicamente se citan de manera explícita para hacer alusión al significado de la ‘M’ en las siglas STEAM. En cambio, sí se marcan como contenidos “Espacios para tocar y experimentar: rincones de ciencia” y “Utilidades en educación basadas en la programación y la robótica”. También aparece un proyecto titulado “El aprendizaje inspirado en juego”, que podría hacer pensar en la aparición de matemáticas

como eje vertebrador (teoría de juegos), pero en el cual aparece como tutor un *coaching* empresarial que organiza experiencias de gamificación sin ninguna relación con las matemáticas. En primaria, la única opción para el profesorado que quiera formarse en la enseñanza de Matemáticas son cursos sobre ABN, tanto en centros de infantil y primaria (Consejería de Educación y Cultura del Gobierno del Principado de Asturias: CPR Avilés Occidente, 2018), como en cursos aislados en niveles de iniciación (Consejería de Educación y Cultura del Gobierno del Principado de Asturias: CPR Avilés Oriente, 2018a) y profundización (Consejería de Educación y Cultura del Gobierno del Principado de Asturias: CPR Avilés Oriente, 2018b).

## Castilla y León

El plan autonómico consta de varias líneas prioritarias, de las cuales una es actualización científica y didáctica. Entre las competencias no se contempla la matemática, pero sí la científica. El profesorado puede buscar la oferta formativa a través de una plataforma (Junta de Castilla y León, 2019), pero también puede elaborar, bien en su centro o bien como grupo de diferentes centros, su propio plan de formación. De entre todos los cursos ofertados encontrados en web, hay 162 sobre ABN. Respecto a convocatorias especiales para formación a distancia, únicamente hay dos cursos relacionados con las matemáticas: “Iniciación a Latex para la edición de fórmulas” e “Iniciación a Geogebra para la enseñanza de las Matemáticas”. Una grata sorpresa es que la Asociación Miguel de Guzmán, formada por las cuatro universidades públicas de Castilla y León, y la Consejería de Educación organizan congresos regionales bienales para profesorado de Matemáticas. En el 2018 se celebró el decimocuarto congreso (Junta de Castilla y León, 2018), junto a la tercera jornada Geogebra, lo que significa que se organizan este tipo de congresos desde 1990. Sin embargo, solo hay información sobre los cuatro últimos: 2012, 2014, 2016 y 2018.

## Andalucía

Los planes de formación del profesorado duran varios años. Tanto en el II plan (Consejería de Educación y Ciencia de la Junta de Andalucía, 2002) como en el III plan (Junta de Andalucía, 2014), no se observan referencias explícitas a las matemáticas ni a STEAM. En la búsqueda de las actividades registradas en su plataforma, bajo el descriptor “2.2.-Actualización didáctica de las

Matemáticas” se encuentran 242, entre cursos, talleres, grupos de trabajo, encuentros y formación en centros. De estos, 150 son de ABN. Hay que destacar que, en el caso de la etapa de infantil, de 55 cursos, 46 son de ABN.

## **Cantabria**

Tal y como explican en la página web de la Consejería de Educación, Cultura y Deporte de la Comunidad de Cantabria, el Plan Regional de Formación Permanente del Profesorado constituye el marco y el referente para dicha formación en la Comunidad Autónoma de Cantabria durante el período 2015-2019 (2015). Cada curso escolar, Cantabria elabora un plan, llamado de acciones formativas en 2015-2016, y Anual de Formación Permanente del Profesorado en 2017-2018 (2017) y 2018-2019 (2018). Del plan del curso 2016-2017 no se ha encontrado información. Antes del 2015 también había planes anuales que se llamaban Regional de Formación Permanente del Profesorado, como el del curso 2014-2015 (2014). En este último se recogía explícitamente la implantación de planes de mejora de la competencia matemática, al igual que ocurría con la competencia lingüística, tanto en las finalidades como en las líneas de actualización científica y didáctica y de tratamiento de la información y competencia digital, aun a través de acciones formativas sobre ABN. No obstante, la presencia de las matemáticas disminuyó de forma alarmante en los planes anuales de los siguientes cursos académicos. En el curso 2015-2016 solo se programaron seis cursos sobre competencias matemáticas, dos de ellos de ABN, sin ninguna referencia general. En el curso 2017-2018 (para el curso anterior no hay información disponible) hubo tres acciones formativas en torno a las matemáticas, aunque ninguna relacionada con ABN; además, cuando se habla de competencias matemáticas, se engloban con las de ciencia y tecnología. Y, por último, en el plan del curso 2018-2019, no se hace referencia a las competencias matemáticas en ningún momento, pero sí a las lingüísticas, a las científicas y a las emociones, aunque incorporan dos cursos sobre matemáticas manipulativas (primaria) y sobre nuevos enfoques metodológicos en la enseñanza de las Matemáticas (secundaria). Entre las entidades colaboradoras se encuentra la Sociedad Matemática de Profesores de Cantabria.

## **Galicia**

Los planes de formación son anuales. Durante el curso 2015-2016 (2015) se organizaron tres cursos sobre matemáticas y cinco relacionados con el ámbito

científico, tecnológico y matemático. En los años siguientes cambia el modelo y las matemáticas solo aparecen asociadas a iniciativas formativas en el ámbito STEM. El buscador de cursos (2019) ni siquiera ofrece la opción de buscar por especialidad. Se realiza la búsqueda bajo el descriptor de “*Especialista en su materia*” y se revisa uno por uno cada curso para ver si es de la especialidad propia. En este año hay 159 cursos bajo este epígrafe y solo dos cursos relacionados con las matemáticas. En el descriptor “*Investigador/a e innovador/a*” aparecen entre 81 cursos; dos de matemáticas, de los cuales uno de ellos es de ABN.

## Cataluña

La tendencia plasmada en los planes de formación de esta comunidad en los últimos dos años ha sido la adopción de metodologías reflexivas y centradas en los proyectos de centro, alejándose de las propuestas basadas en cursos aislados y actualización de conocimientos individuales (Jarauta Borrasca et al., 2014). No obstante, la oferta de formación del curso 2018-2019 recogida en la página web de la Xarxa Telemàtica Educativa de Catalunya (2019) agrupa, bajo el descriptor “*Matemàtiques*”, 349 acciones formativas relacionadas con esta materia. De ellas, 31 están relacionadas con STEM o STEAM. Las modalidades de estas acciones son variadas: talleres, asesoramiento, cursos, grupos de trabajo, seminarios, conferencias, jornadas, intercambio de experiencias, visitas pedagógicas o encuentros. Destaca también el repositorio de recursos didácticos que cuenta con un bloque dedicado a las matemáticas ordenado por ramas: geometría, análisis, estadística... También están disponibles en abierto, en el repositorio Ateneu.xtec.cat (n.d.), los materiales de cursos e itinerarios de formación en centros de años anteriores. Son interesantes las guías para mejorar las competencias matemáticas del alumnado a través de la práctica reflexiva y la formación del profesorado de todo un centro educativo. Es interesante asimismo el curso ARAMAT: Ara Matemàtiques. Saber-ne més per ensenyar-les millor (Ahora Matemáticas. Saber más para enseñarlas mejor) para las etapas de infantil y primaria.

## Comunidad Valenciana

El Decreto 231/1997 regula la creación, estructura y funcionamiento de los Centros de Formación, Innovación y Recursos Educativos de la Comunidad Valenciana (CEFIRE). Los antiguos centros de profesores CEP (cuya creación

data de 1985: Decreto 12/1985) fueron reconvertidos (Souto Gonzáles, 2002; Beltrán Llavador, 2000) y algunos de ellos fueron desapareciendo a lo largo de los años (Ramiro i Roca, 2002). Por fin, en 2012, se desarrolló el decreto sobre los CEFIRE a través de las órdenes 64/2012 y 65/2012. Estos espacios contaban con asesorías especializadas, entre las cuales se encontraban las de matemáticas. Desde el 2005 con convocatoria de puestos de trabajo para asesorías de CEFIRE (Resolución del 24 de mayo de 2005), desaparecen para formar parte de una única asesoría de ámbito científico o tecnológico. La consecuencia es que, según el profesor o profesora encargada de esta tarea, la programación y promoción de actividades estaba más o menos sesgada en torno a su especialidad. Las personas encargadas de la asesoría dejaron de ser ponentes y diseñadoras de la formación para ejercer tareas administrativas y contratar servicios externos o de entidades colaboradoras. Los criterios de selección de personal externo no están claros al no tratarse de especialistas en todas las materias, y eso propicia la aparición en el sistema de pedagogías y metodologías no contrastadas por la investigación, como en el caso general de las comunidades de aprendizaje (RedUNE-Afectados por CREA, n.d.) o en el particular de la formación masiva en ABN (AMCA, 2019). En la Resolución del 5 de agosto de 2016 se crean tres CEFIRE territoriales más y seis específicos que se unen al ya existente de Formación Profesional, ampliando la red CEFIRE (2018) y cambiando el modelo de formación existente hasta la fecha dando también importancia a la formación específica por especialidad. Entre ellos, el CEFIRE de ámbito Científico Tecnológico y Matemático, CEFIRE CTEM (2019), que contempla en su misma denominación a las Matemáticas, contando con cinco asesorías especialistas en esta materia y una línea de formación sobre didáctica de las matemáticas. En los planes anuales de formación desde el 2012 hasta el 2017, no se hace referencia explícita a las Matemáticas, sin embargo en el último de 2019 (Resolución 20 de julio de 2018) se recogen una serie de actuaciones específicas en la materia. Este hecho supone una diferencia respecto a las tendencias del resto de comunidades autónomas, que priorizan la formación generalista en metodologías y actuaciones centradas en el propio centro por encima de la formación por especialidad.

## **Extremadura**

La formación permanente del profesorado se estructura en torno a un plan marco de carácter plurianual (Orden del 25 de noviembre de 2016), que a su

vez depende del Decreto 69/2007 que regula todo el sistema. En él se establece como eje de la formación permanente del profesorado, el centro educativo. No es extraño, por lo tanto, que en los 18 centros de formación del profesorado (CPR) se organizaran para el curso 2018-2019 (Educarex, 2019) únicamente cinco formaciones en centros de primaria e infantil en ABN, dos en el método de Singapur para los mismos niveles, dos sobre ajedrez concentrados en un CPR y uno sobre Geogebra.

## Región de Murcia

En esta comunidad, la formación permanente del profesorado está regulada por el Decreto del 9 de mayo de 2003. En la Orden del 12 de julio de 2012, se suprimen los ocho CPR, dejando uno de carácter general, aduciendo “alto grado de eficiencia dentro del actual marco de austeridad y contención del gasto público”. En la Resolución del 25 de julio de 2013, se crean ocho extensiones de este único centro. El último plan trienal de formación permanente del profesorado (Orden 30 de octubre de 2018), contempla entre sus líneas prioritarias el desarrollo de las competencias matemáticas. Dice textualmente:

Por lo que se refiere a la competencia en matemáticas, la formación del profesorado deberá proporcionar las estrategias y las herramientas necesarias para programar, desarrollar y evaluar actividades capaces de contribuir al desarrollo en el alumnado de las capacidades de utilizar los números y las operaciones básicas, los símbolos y las formas de expresión y el razonamiento matemático para producir e interpretar informaciones, para conocer más sobre aspectos cuantitativos y espaciales de la realidad y para resolver problemas relacionados con la vida diaria y el mundo laboral.

Sin embargo, las actividades de formación, en el curso 2017-2018, relacionadas con esta competencia se reducen a una breve mención en los itinerarios de Formación Preferentes (Resolución 14 de mayo de 2018) relacionados con actualización didáctica (hay itinerarios propios para TIC, competencia lingüística y competencia científica), un proyecto de innovación (Región de Murcia, 2018) sobre las matemáticas en los cuadernos de ABP, y ocho acciones formativas (EducarM, 2018) de diversos formatos como grupos de trabajo, seminarios o cursos.

## Canarias

Al igual que en otras comunidades autónomas, Canarias también sufrió la eliminación de varios de sus CEP en 2012 (Orden del 23 de julio de 2012). El modelo canario establece un plan trienal que se concreta anualmente en los centros o en acciones específicas. En el trienio anterior, 2015-2018 (Plan de formación de Canarias, 2015), no hay ninguna referencia a la formación en Matemáticas, ni en itinerarios ni en las guías docentes o en el plan de formación, sin embargo, sí hay referencias a competencias lingüísticas y TIC, que aparecen como líneas estratégicas. En cuanto a los seminarios (Gobierno de Canarias, 2018), hay nueve en torno a las matemáticas, seis de ellos coordinados por la Sociedad de Profesorado de Matemáticas “Newton” de Canarias. Pese a ello, únicamente hay un grupo de trabajo que incluye las Matemáticas. Como acciones puntuales en cada CEP de las islas, para el curso 2018-2019 tres cursos de ABN y uno sobre matemáticas manipulativas. Los centros también colaboran en las jornadas OAOA<sup>14</sup> organizadas por la asociación de este movimiento de las islas.

## Aragón

El modelo de formación del profesorado en Aragón se estructura en torno a los Centros de Innovación y Formación Educativa (CIFE) en el DECRETO 105/2013. Dicho decreto establece que se deberá tener un plan marco de formación del profesorado de carácter cuatrienal. En el plan correspondiente a 2016-2019 (Orden ECD/309/2016), no hay ninguna referencia en las líneas estratégica a la formación en Matemáticas. Cada CIFE debería tener su propio plan de actuación, pero en muchos casos no se encuentra disponible, ya que las páginas web de cada uno son diferentes y no parecen tener carácter institucional. Tampoco hay acceso a los planes de formación en centros. En el CIFE Ana Abarca de Bolea (ver web) hay propuestas para el año académico 2018-2019, como cursos de ABN e incluso jornadas, orientadas a infantil y primaria. Sin embargo, en 2016-2017, no existía esta oferta y en su lugar se podían encontrar cursos denominados “Primavera matemática”. Hay tres

---

<sup>14</sup> Son las siglas de Otros Algoritmos para las Operaciones Aritméticas y representan un movimiento que pretende revolucionar la enseñanza de las matemáticas haciéndolas accesibles para todos.

CIFE específicos, en inclusiva, FP y lenguas, pero no hay nada sobre ciencia, tecnología y matemáticas.

### **Islas Baleares**

En esta comunidad, el modelo de formación comprende un plan cuatrienal (Resolución 16 de marzo de 2016), en el que se especifican las líneas de actuación en el diseño de acciones formativas. Desde el 2004 hasta el 2016, los planes no hacían ninguna referencia a las Matemáticas. En cambio, en el plan 2016-2020, dentro de una la línea estratégica 7, se recoge uno de los contenidos que dice: “Formación para la actualización y mejora de los procedimientos y aprendizajes de carácter científico y matemático”. Cada CEP programa acciones formativas en base a una detección de necesidades de los centros. Las acciones relacionadas con las matemáticas han ido disminuyendo con el tiempo. Por ejemplo, en 2014-2015 (Weib, n.d.), se programaron 15 actividades matemáticas. En cambio, los CEP, durante el curso 2018-2019, ofertaban una media de una o dos actividades relacionadas con las matemáticas.

### **Navarra**

En Navarra se elabora un plan anual de formación del profesorado (ver web) y los Centros de Apoyo al Profesorado (CAP, hay 5) se encargan de llevarlo a la práctica. No hay ninguna referencia a las Matemáticas, excepto en los descripciones de la búsqueda de acciones formativas. Para el curso 2018-2019 solo había dos cursos en inscripción sobre matemáticas: un seminario sobre metodologías activas en el ámbito matemático para infantil y primaria, y un curso sobre, también metodologías activas, para el tratamiento de la estadística en secundaria y bachillerato. En el plan de formación aparecen más cursos y seminarios, pero sin fecha de realización: dos cursos, uno de ellos sobre nivel avanzado de ABN y otro sobre matemáticas divertidas; y seis seminarios, tres de ellos sobre el método OAOA.

### **La Rioja**

En La Rioja únicamente hay una normativa que regula las actividades de formación permanente del profesorado y su certificación, la Orden 9/08. El Centro de Innovación y Formación Educativa (CIFE) (larioja.org) es el único, no tiene página web, pero sí cuenta de Twitter (@cifelarioja). No hay asesorías específi-

cas. Entre todos los cursos ofertados, tanto en convocatoria, como en proceso o finalizados, durante el curso 2018-2019, únicamente había tres sobre ABN en infantil, uno sobre metodologías activas y uno sobre pensamiento computacional. No hay proyectos especiales de innovación en ámbito científico, tecnológico o matemático, lo cual contrasta con los tres en marcha relacionados con la lectura y el aprendizaje de las lenguas.

## Ceuta

En esta comunidad hay planes de formación anuales que se pueden consultar en la página (2019) del Ministerio de Educación y Formación Profesional. En los planes de los cursos 2015-2016 y 2016-2017, se contemplaba dentro de las líneas prioritarias la cultura científica justificándola de la siguiente manera:

Para conseguir el progreso socioeconómico del país, la empleabilidad de sus ciudadanos y una participación crítica y activa de todos sus miembros es imprescindible contar con una sociedad científicamente competente. El Consejo de la Unión Europea, en el marco estratégico 2020, “ET 2020” propone hacer más atractivas las **matemáticas**, la ciencia y la tecnología y reforzar su enseñanza. El aumento de la motivación de los estudiantes y su interés por las ciencias también incrementará el número de vocaciones científicas.

Sin embargo, en los planes de los cursos posteriores, desaparece esta línea, y solo hay programados cursos de ABN. Para el curso 2018-2019, el plan de formación anuncia tres acciones formativas, una relacionada con el ABN, otra sobre pensamiento computacional y una que se llama “¡No mates a las mates!”, cuyo objetivo se explica con las siguientes palabras: “Este curso pretende impulsar la didáctica de las ciencias exactas a partir de la exploración de las matemáticas manipulativas y otras metodologías actuales en la enseñanza de esta materia en nuestras aulas”. Si bien esto parece un buen augurio, este curso no aparece en la convocatoria 2018-2019.

## Melilla

En Melilla se elaboran anualmente los Planes Provinciales de Formación Permanente del Profesorado (Web Gobierno de España, 2019). En los planes del 2016-2017 y 2017-2018, aparece la misma referencia a las Matemáticas

que en los planes antiguos de Ceuta. La única diferencia es que la línea de actuación bajo la cual actúa es Educación CTIM (STEM). Melilla no cuenta con un centro de formación del profesorado. En su lugar aparece la Unidad de Programas Educativos (UPE). Las acciones formativas relacionadas con las matemáticas en los cursos 2016-2017 y 2017-2018 han sido dos, sobre ABN. Aunque el plan provincial del curso 2018-2019 no está disponible, se pueden consultar los cursos, seminario y grupos de trabajo a través de la página de UPE y del Ministerio. No hay ninguna actividad relacionada con las matemáticas, ni siquiera ABN.

## INTEF

El Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del Profesorado (INTEF), cuyo ámbito de actuación es nacional, desarrolló para el curso 2018-2019 un programa orientado al pensamiento computacional, una tendencia que se ubica a medio camino entre la programación y las matemáticas. Su relación con las matemáticas se encuentra en el desarrollo de pensamiento lógico-matemático para reconocer y reproducir secuencias que pueden servir para programar robots que actúan para dar solución a un problema.

El informe *Programación, robótica y pensamiento computacional en el aula. Situación en España y propuesta normativa* (Ministerio de Educación y Formación Profesional, 2018) realiza un análisis de las propuestas por comunidades autónomas y propone la inclusión del pensamiento computacional y la robótica en el currículo al mismo nivel que otras asignaturas como las Matemáticas y la Lengua Castellana y Literatura. Si bien en aquellas comunidades autónomas se reconoce la importancia del pensamiento computacional en el ámbito de las matemáticas, la propuesta normativa no hace ninguna referencia expresa a las matemáticas y los objetivos se redactan en base a las competencias en programación informática.

El INTEF también gestiona los cursos de formación en red del Ministerio de Educación y Formación Profesional, que se ofertan todos los años desde el 2013. En la convocatoria del 2014, la tercera, se ofertó el curso “Recursos educativos abiertos para la enseñanza de las Matemáticas” (2014). A pesar de reconocer en el blog sobre estos cursos (2014) que se había formado una comunidad de aprendizaje para la creación de recursos educativos abiertos para las matemáticas, se decidió no seguir ofertándolo. En la convocatoria del 2015, tres de los cursos se

habían agrupado en uno: “Creación de Recursos Educativos Abiertos para la enseñanza de las Matemáticas, las Ciencias y la Tecnología” (2015), sobre el cual no hay información disponible. En las convocatorias posteriores, hasta el 2019 (Resolución 21 de noviembre de 2018, Secretaría de Estado de Educación y Formación Profesional), no hay oferta para Matemáticas específicamente.

# LOS ESTUDIOS DE MATEMÁTICAS EN EL ÁMBITO UNIVERSITARIO

Luis J. Rodríguez-Muñiz (Coordinador)<sup>1</sup>, Rafael Crespo<sup>2</sup>, Irene Díaz<sup>1</sup>, Mario Fioravanti<sup>3</sup>, Lluís Miquel García-Raffi<sup>4</sup>, María Isabel González-Vasco<sup>5</sup>, Laureano González Vega<sup>3</sup>, Matilde Lafuente<sup>6</sup>, Jesús Montejo-Gámez<sup>7</sup>, Francisco A. Ortega<sup>8</sup>, Raquel Mallavibarrena (Coordinadora de los dos bloques de educación)<sup>9</sup>

1: Universidad de Oviedo

2: Universitat de València

3: Universidad de Cantabria

4: Universitat Politècnica de València

5: Universidad Rey Juan Carlos

6: Universidad de Murcia

7: Universidad de Granada

8: Universidad de Sevilla

9: Universidad Complutense de Madrid

## 1. LOS ESTUDIOS DE MATEMÁTICAS EN EL ÁMBITO UNIVERSITARIO

### 1.1. El Sistema Universitario Español: dimensión y financiación

El Sistema Universitario Español estaba integrado, en 2019, por un total de 84 universidades con las siguientes características: 50 universidades públicas (47 presenciales, 1 no presencial y 2 universidades especiales: UIMP y UIA) y 34 universidades privadas (28 presenciales y 6 no presenciales), aunque muy recientemente se ha aprobado la creación de, al menos, 4 universidades privadas más en distintas comunidades autónomas.

Si se compara con Estados Unidos, teniendo en cuenta el número de habitantes por universidad, se observa que en EE.UU., con 323,1 millones de habitantes, hay una universidad por cada 381.463 habitantes. Por el contrario, en España, con 46,4 millones de habitantes hay una universidad por cada 552.380 habitantes, un número de universidades que es un 31% inferior a las que corres-

ponderían aplicando los parámetros de EE.UU. Sin embargo, si se restringe el análisis a las universidades con producción investigadora, se observa que España se encuentra en los estándares de los grandes países desarrollados, con 760.656 habitantes por universidad con producción investigadora. España tiene una oferta de instituciones universitarias completamente equiparable a la de otros países desarrollados, con universidades de un tamaño (en número de alumnado) algo mayor que el habitual en los países anglosajones y equivalente al de otros países continentales europeos.

La mayoría de países europeos han priorizado el gasto público en educación superior en sus presupuestos, incluso habiendo registrado durante la crisis (2008-2012) niveles de retroceso del PIB similares al de España, porque entendieron que en la educación superior y en la I+D están la base de su competitividad presente y futura (OCDE, 2018). Sin embargo, en España, la aplicación de la política de estabilidad presupuestaria ha recortado la financiación y el gasto público universitario, hasta tal punto que se ha retrocedido a niveles de 1995 en términos porcentuales de PIB. Pese a esta situación, en la década de 2005 a 2014 la producción científica anual se incrementó, pasando de 0,45 documentos por persona investigadora a 0,8, según datos del Observatorio de la Actividad Investigadora en la Universidad Española (IUNE). El Sistema Universitario Español se financia, como en la mayoría de países europeos, con una alta proporción de recursos públicos. Según el último dato disponible, en 2013 España utilizaba menos recursos totales que la media de los países de la Unión Europea a 27 y de la OCDE. También utilizaba menos recursos públicos: este valor se mantiene en el 1,3% del PIB, frente al 1,5% del PIB de la UE a 27 y 1,6% del PIB de la OCDE. El Informe del gasto público en educación de 2016, publicado en noviembre de 2018, consigna un 0,80% del PIB de gasto en Educación Universitaria (Ministerio de Educación, 2016).

## **1.2. Titulaciones de grado y doble grado en Matemáticas y en Estadística en las universidades públicas**

Durante el curso 2018/2019, de las 47 universidades públicas presenciales, en 26 de ellas se impartieron titulaciones de grado en Matemáticas, además del grado que ofrece la UNED. Territorialmente, es posible cursar un grado en matemáticas en 15 de las 17 comunidades autónomas. En las comunidades de Navarra y Castilla-La Mancha, si bien existen departamentos universitarios de matemáticas, no se ofertan titulaciones de grado en Matemáticas.

Durante el curso 2018/2019, de las 47 universidades públicas presenciales, en 26 de ellas se impartieron titulaciones de grado en Matemáticas, además del grado que ofrece la UNED. Territorialmente, es posible cursar un grado en matemáticas en 15 de las 17 comunidades autónomas

En el curso 18/19 estuvieron en activo 52 títulos de estas características, de los cuales 27 fueron grados de Matemáticas y el resto fueron dobles grados, también conocidos como programas conjuntos de estudios oficiales (PCEO). En orden decreciente, los grados conjuntos en Matemáticas se han combinado con Informática (en 11 ocasiones), Física (9), Ingeniería de Telecomunicación (2), Estadística (1), Educación Primaria (1), Economía (1), Economía y Estadística (1), Administración de Empresas (1), Ingeniería Telemática (1), Ingeniería Física (1), Ciencia e Ingeniería de Datos (1), Ingeniería Aeroespacial (1), Tecnologías Industriales (1) e Ingeniería Civil (1). Además, se impartieron 4 grados mixtos (grados de 240 créditos que combinan matemáticas y otro ámbito): Matemáticas e Informática, Matemática Computacional, Ingeniería Matemática, y Matemáticas y Estadística, con una oferta total de 195 plazas y notas de corte entre 10,655 y 11,267.

También se pueden cursar 10 grados relacionados con la Ciencia de Datos, bajo distintas denominaciones: Ciencia de Datos, Ciencia de Datos Aplicada, Ciencia e Ingeniería de Datos, Datos y Analítica de Negocio, Ingeniería Matemática Aplicada al Análisis de Datos, Ingeniería Matemática en Ciencia de Datos, y Matemática Computacional y Analítica de Datos, con una oferta en el curso 2018/2019 de 375 plazas y notas de corte entre 6,11 y 11,81. Aunque algunos de estos grados en Ciencia de Datos van a comenzar a implantarse en el curso 2019-2020, por lo que resulta difícil extraer conclusiones generales sobre su comportamiento y evolución.

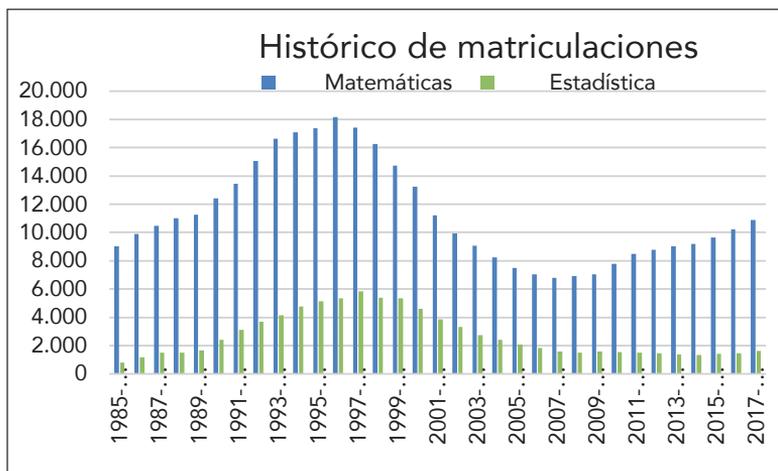
En el ámbito de la estadística se imparten 7 grados de Estadística, con un total de 330 plazas, y otros 5 orientados a las aplicaciones de la estadística en las ciencias sociales, con denominaciones diversas: Estadística y Empresa (2), Estadística Aplicada (2), y Estadística Empresarial (1), con una oferta de 235 plazas. En estos 11 grados, adicionalmente a las asignaturas propias de probabilidad y estadística, se estudia un número de créditos de otro tipo de formación matemática que oscila entre 18 y 42 créditos.

### 1.3. Análisis de las titulaciones de grado y doble grado en Matemáticas y en Estadística

#### 1.3.1. Alumnado de nuevo ingreso, matriculado y egresado

La evolución histórica de matriculaciones en titulaciones de Matemáticas y Estadística puede apreciarse en la figura 1.

Figura 1. Evolución de la matrícula en grados de matemáticas y estadística



Fuente: Ministerio de Educación y Formación Profesional (2019).

Centrándonos en los últimos años, la evolución en los cursos 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016, 2016/2017 y 2017/2018 de las poblaciones de alumnado vinculadas a las titulaciones de grado y doble grado de matemáticas y de estadística, es la que se observa en la tabla 1:

Tabla 1. Evolución de la matrícula total y de nuevo ingreso en los grados de matemáticas y estadística

Curso	2013/2014	2014/2015	2015/2016	2016/2017	2017/2018	Incremento total
Nuevo ingreso	2.899	2.988	3.211	3.405	3.978	37,21%
Matrícula total	8.861	8.983	9.657	10.210	12.520	41,29%
Egreso	825	903	958	980	No disponible	18,79%

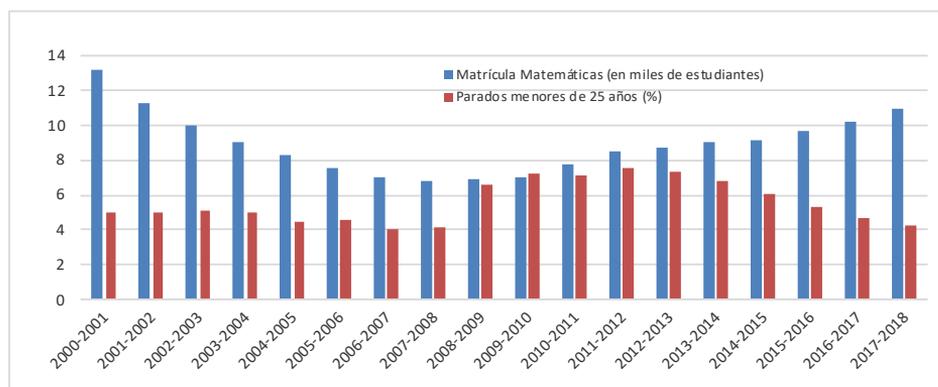
Fuente: Ministerio de Educación y Formación Profesional (2019).

Estas cifras demuestran que la integración de los planes de estudio universitarios españoles en el Espacio Europeo de Educación Superior ha favorecido el ingreso de nuevo estudiantado en Matemáticas, atraído por la oferta de dobles titulaciones. Es preciso señalar también las cifras de egreso, una fase que antes de la adaptación a la convergencia europea presentaba cifras que mostraban la dificultad del progreso del alumnado de acuerdo con lo dispuesto en los planes de estudios. Parece que las cifras actualmente mejoran, aunque posteriormente señalaremos los problemas de abandono que se están diagnosticando.

A partir del año 2008, momento en que se asume la existencia de una crisis económica global, se produce un incremento global notable en las cifras de matriculación en los grados de matemáticas y estadística de cada cohorte respecto a la anterior, notablemente más pronunciado en el caso de las titulaciones de matemáticas

Por otro lado, es interesante comparar la evolución del número de alumnado matriculado y la tasa de paro para menores de 25 años, como se observa en la figura 2.

**Figura 2.** Evolución de la matrícula de matemáticas y de la tasa de paro de menores de 25 años



*Fuente:* Elaboración propia a partir de datos del Ministerio de Educación y Formación Profesional y del Ministerio de Trabajo.

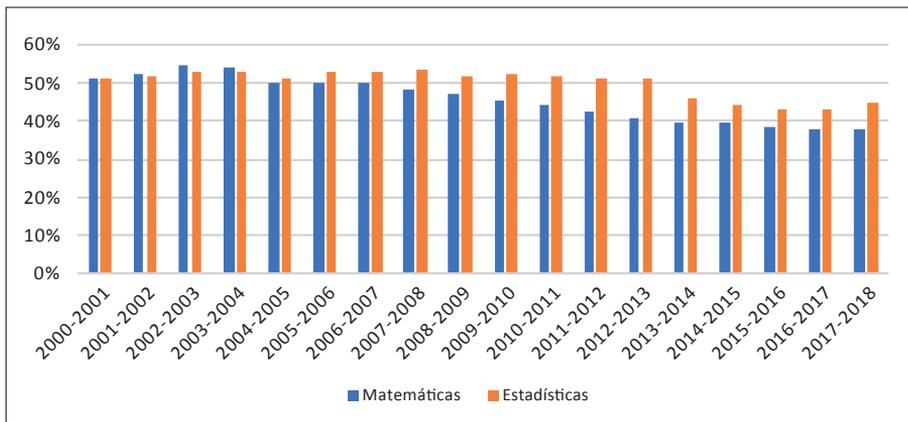
Resulta llamativo observar que el número de matriculados y matriculadas en Matemáticas aumente al mismo tiempo que decae la economía (periodo 2008-2012) y, cuando la economía parece recuperarse con una caída del número de personas en paro, la matriculación en Matemáticas no desciende, sino que se mantiene el interés. Algunos de los motivos que pueden haber contribuido a este incremento son la alta empleabilidad de los egresados y las egresadas en Matemáticas, la difusión en medios de comunicación y redes sociales de numerosas

noticias relativas a esta alta empleabilidad y, quizá también, las expectativas de especialización ligada a la ciencia de datos (véase el capítulo de salidas profesionales en este Libro Blanco). En este ámbito, las dobles titulaciones de matemáticas vinculadas con las nuevas tecnologías presentan un perfil que, aun con datos relativamente recientes, es altamente demandado, como se constata en la relación oferta-demanda de estos grados.

La distribución por sexos indica actualmente una brecha en las preferencias por los estudios de matemáticas, que ha ido aumentando en los últimos años, ya que a principios del siglo XXI la matrícula era más igualitaria o incluso tenía mayoría femenina

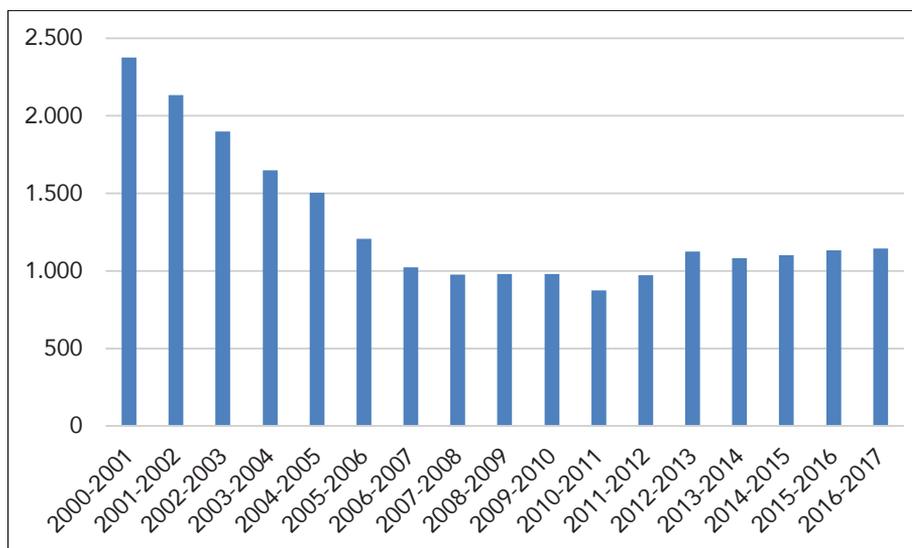
La distribución por sexos indica una reciente estabilidad porcentual (60% hombres y 40% mujeres) con pequeñas oscilaciones, lo cual sugiere la existencia de una notable brecha en las preferencias por los estudios de Matemáticas (véase el capítulo de Igualdad de Género en este Libro Blanco). Se demuestra, asimismo, que la brecha ha ido aumentando en los últimos años, ya que, como se observa, a principios del siglo XXI la matrícula era más igualitaria o incluso tenía mayoría femenina. Esta diferencia resulta menor cuando solo se analizan los grados de Matemáticas de forma segregada respecto a los que combinan con otras áreas (física, informática) caracterizadas por exhibir un comportamiento más sesgado en lo relativo a la distribución de matrículas por sexos (según datos proporcionados por la Conferencia de Decanos de Matemáticas). Las figuras 3, 4 y 5 ilustran las anteriores afirmaciones.

**Figura 3. Porcentaje de mujeres en la matrícula en Matemáticas y Estadística**



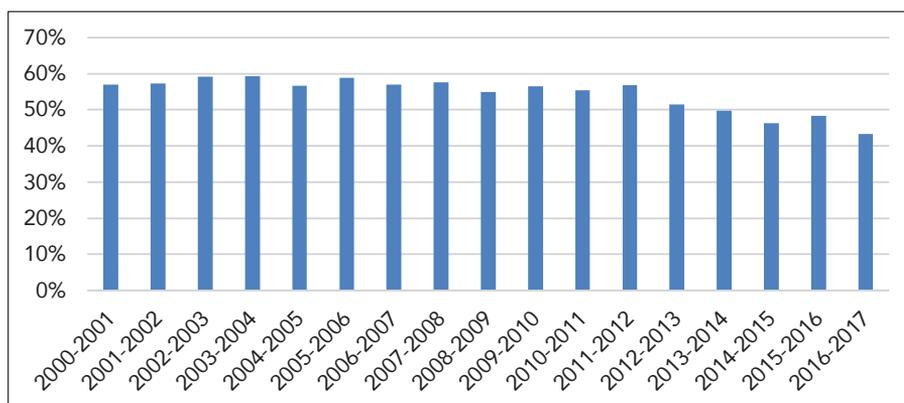
*Fuente:* Ministerio de Educación y Formación Profesional (2019).

**Figura 4. Número de egresados y egresadas de Matemáticas y Estadística**



*Fuente:* Ministerio de Educación y Formación Profesional (2019).

**Figura 5. Porcentaje de egresadas en Matemáticas y Estadística**

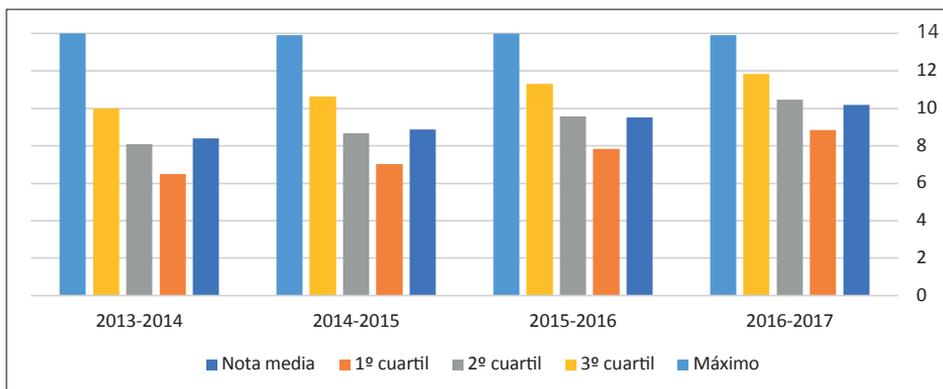


*Fuente:* Ministerio de Educación y Formación Profesional (2019).

Disponemos de la evolución de las notas medias de admisión en el conjunto de los grados de Matemáticas y Estadística, es decir, la media de las notas con las que es admitido el estudiantado, así como de su distribución por cuartiles, que se muestra en la figura 6. Se observa cómo la evolución en los últimos años es creciente, con notas medias que van desde el 8,38 del curso 2013/2014 hasta el

10,17 del curso 2016/2017, alcanzándose máximos de prácticamente 14 puntos en todos los cursos. Es reseñable también cómo el primer cuartil de la nota de admisión crece desde 6,5 puntos hasta 8,83, lo que nos da una idea clara del aumento de la demanda de los estudios de matemáticas y estadística en los últimos años.

**Figura 6. Distribución de la nota del alumnado de nuevo ingreso en grados de Estadística y Matemáticas**



*Fuente:* Ministerio de Educación y Formación Profesional (2019).

Para el caso concreto de los grados de Matemáticas, la Conferencia de Decanos de Matemáticas ha realizado estudios más pormenorizados sobre las notas de admisión. Así, la evolución en los cursos del 2013/2014 al 2017/2018 de las notas de corte medias en la admisión en los grados de Matemáticas es la que se muestra en la tabla 2. Hay que precisar que la nota de corte es la nota con la que ingresa la última o el último estudiante admitido.

**Tabla 2. Nota de corte media en los grados de Matemáticas (en el conjunto de los centros en que se imparte)**

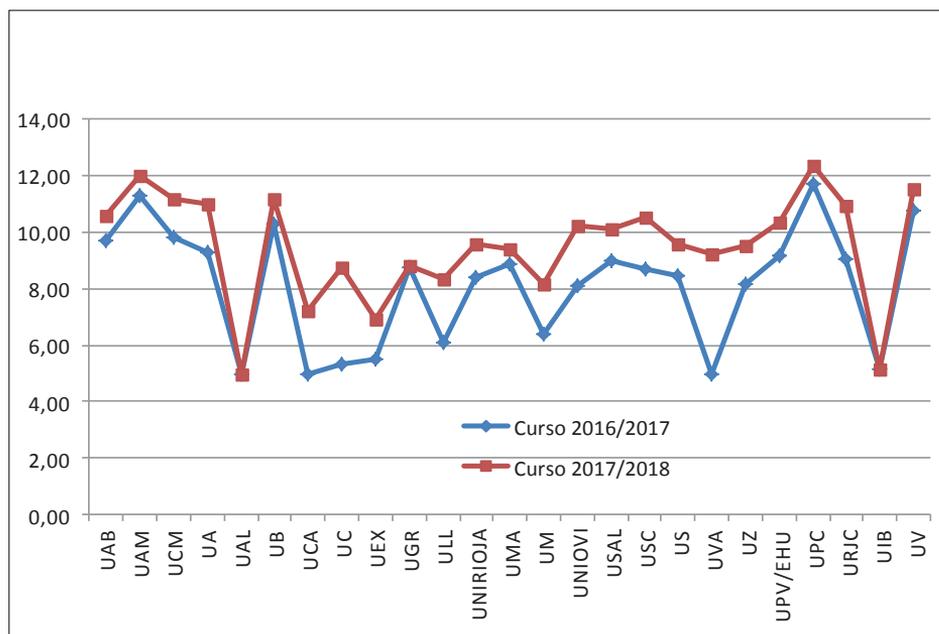
Curso	2013/2014	2014/2015	2015/2016	2016/2017	2017/2018	2018/2019
Nota de corte	7,12	7,89	9,03	8,12	9,52	10,40

*Fuente:* Conferencia de Decanos de Matemáticas.

Si se analizan los datos, se observa un incremento importante de las notas de corte para el acceso a los estudios de grado en Matemáticas en los últimos años, pero si nos centramos exclusivamente en los cursos 2016/2017 y 2017/2018,

se puede apreciar que el incremento es generalizable a todos los centros que imparten la titulación, como se muestra en la figura 7. Este crecimiento se explica por la atracción creciente que exhiben los grados de Matemáticas en los últimos años, debida en buena medida a la baja tasa de paro de los egresados y las egresadas.

Figura 7. Comparación de las notas de corte en la mayoría de las titulaciones de matemáticas



Fuente: Conferencia de Decanos de Matemáticas.

El porcentaje de alumnado becado en los grados de Matemáticas ha experimentado un descenso en los últimos años, con alguna pequeña oscilación en torno al valor central del 27,3%, como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Porcentaje de alumnado becado en los grados de Matemáticas

Curso	2013/2014	2014/2105	2015/2016	2016/2017
% de alumnado becado	28,88	27,63	28,68	23,91

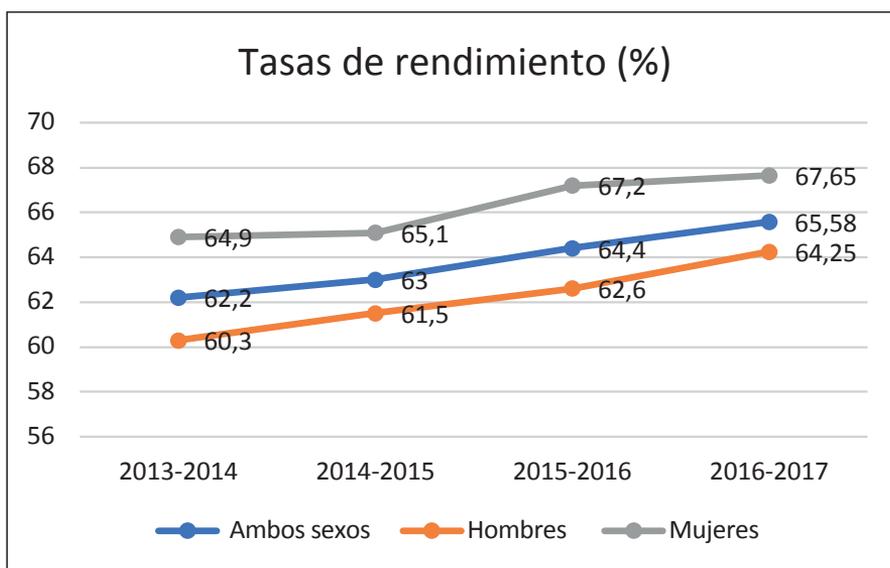
Fuente: Ministerio de Educación y Formación Profesional (2019).

### 1.3.2. Indicadores universitarios para los grados de Matemáticas y Estadística

En las tasas de rendimiento (relación entre el número de créditos superados frente a número de créditos matriculados) en los cursos 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016 y 2016/2017 se está produciendo un suave ascenso, como indica la figura 8. Este crecimiento se explica por el aumento de las notas de corte y por la madurez que los planes de estudio están alcanzando. Hay diferencias de más de tres puntos entre el rendimiento medio de las mujeres con respecto al de los hombres.

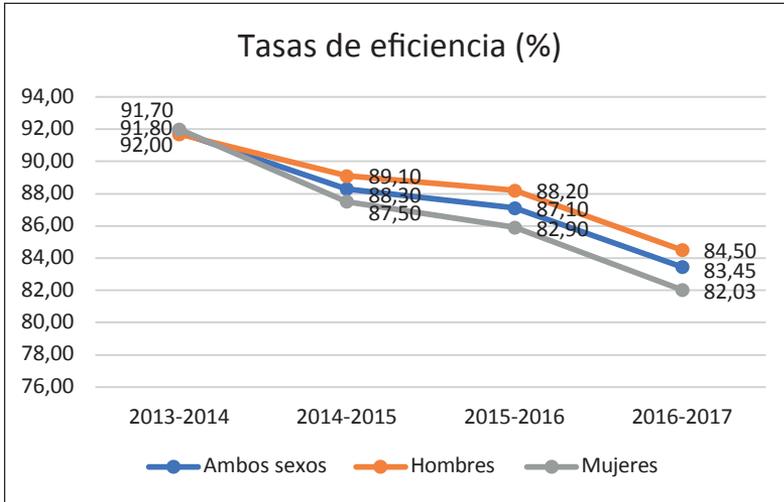
Las tasas de eficiencia de esos mismos cursos (relación entre el número de créditos superados y el número de créditos matriculados desde el inicio de los estudios, véase figura 9), están igualmente experimentando un descenso obvio al ser los datos iniciales los de las primeras cohortes del grado. Este comportamiento es también el esperable en situaciones de no abandono de los estudios.

Figura 8. Tasas medias de rendimiento en los grados de Matemáticas y Estadística



Fuente: Ministerio de Educación y Formación Profesional (2019).

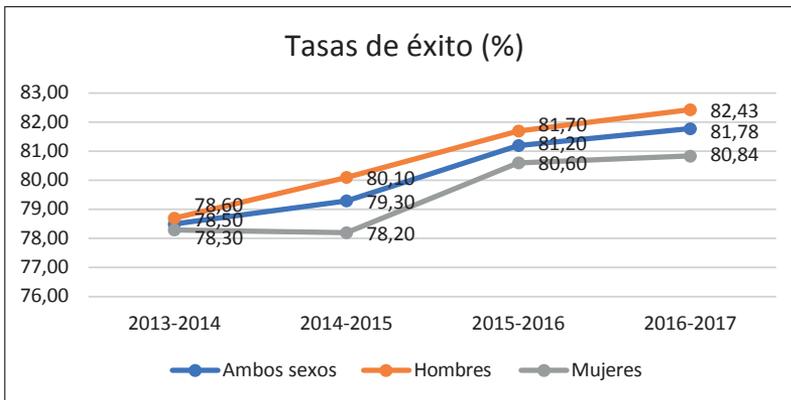
**Figura 9. Tasas medias de eficiencia en los grados de Matemáticas y Estadística**



*Fuente:* Ministerio de Educación y Formación Profesional (2019).

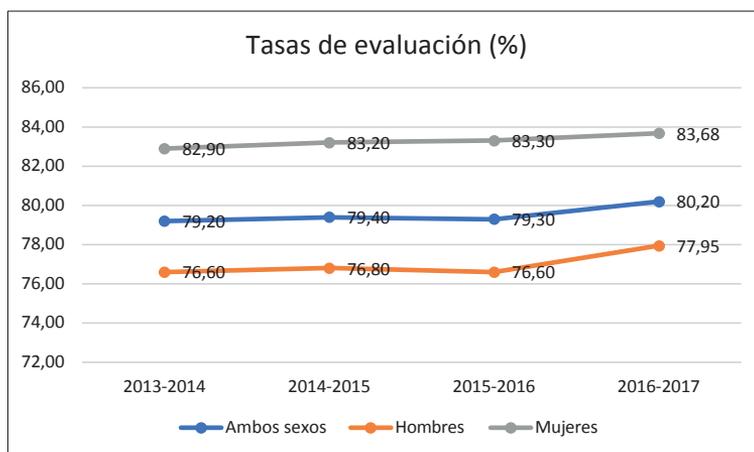
Las tasas de éxito (relación entre el número de créditos superados y el número de créditos presentados) también han aumentado ligeramente (figura 10). Combinado con la información anterior, se advierte que el alumnado ajusta a sus expectativas el número de asignaturas a las que concurre, lo que explica ese crecimiento.

**Figura 10. Tasas medias de éxito en los grados de Matemáticas y Estadística**



*Fuente:* Ministerio de Educación y Formación Profesional (2019).

Figura 11. Tasas medias de evaluación en los grados de Matemáticas y Estadística

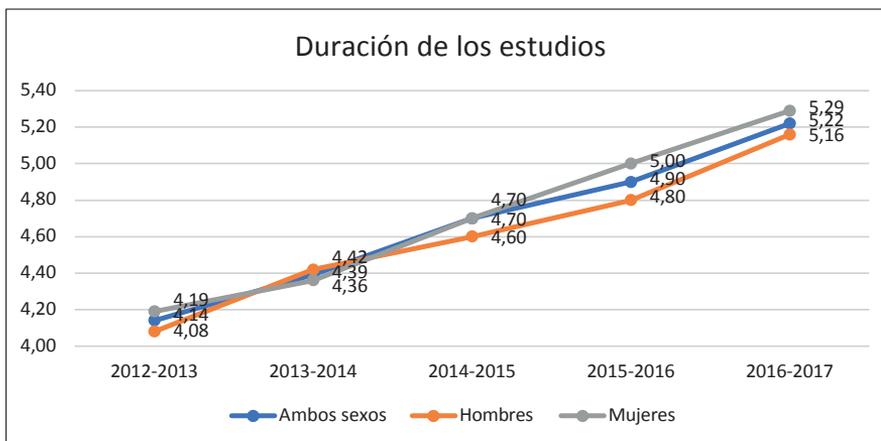


Fuente: Ministerio de Educación y Formación Profesional (2019).

Finalmente, la evolución de las tasas de evaluación (relación entre el número de créditos presentados y el número de créditos matriculados) corrobora esta situación (figura 11). El alumnado ajusta las asignaturas de las que se matricula y aquellas a las que se presenta teniendo en cuenta cuestiones como la pérdida de beca si no se alcanza un porcentaje mínimo de éxito y los sobrepagos de las segundas y sucesivas matrículas respecto a las tasas de primera matrícula. En esta tasa de evaluación es donde se observa una mayor diferencia entre mujeres y hombres, siendo estos quienes realizan (a la vista de las tasas de éxito) una selección más rentable.

La duración media de los estudios, diseñados para cuatro años, está exhibiendo un lógico ascenso ya que, a medida que el plan de estudios se va implantando, este parámetro no puede descender mientras no se produzcan abandonos, lo cual sí hubiera resultado preocupante (figura 12). No se observan grandes diferencias entre mujeres y hombres.

Figura 12. Duración media de los estudios de grado en Matemáticas y Estadística



Fuente: Ministerio de Educación y Formación Profesional (2019).

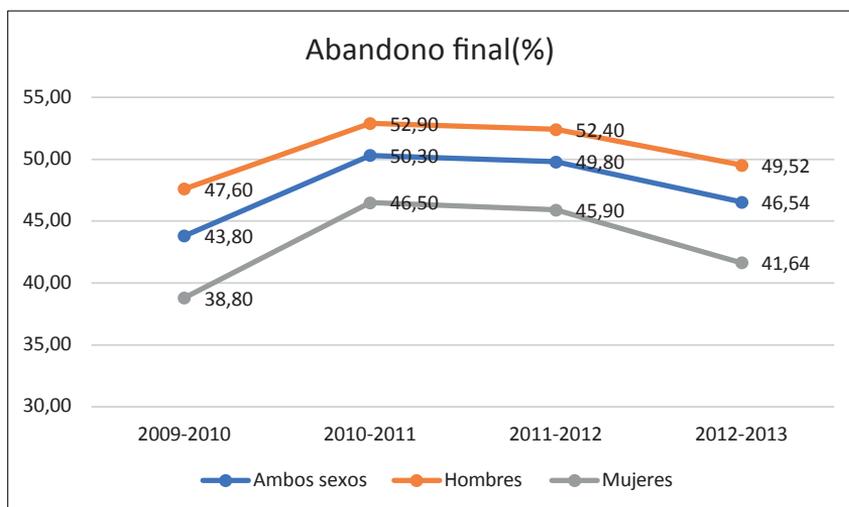
Según datos de la Conferencia de Decanos de Matemáticas (abril 2019), las tasas de abandono inicial, para grados de Matemáticas, son las que se muestran en la tabla 4. Mientras que la figura 13 muestra los datos del ministerio sobre abandono final (suma de los abandonos iniciales y en segundo y tercer año) para los grados de Matemáticas y de Estadística. Se observan varias características. Así, parece que, frente a un primer incremento en ambas tasas de abandono, los últimos años han conseguido invertir esta tendencia, situándose aún en cifras elevadas. También se observa un mayor porcentaje de abandono entre los hombres, que renuncian hasta en casi ocho puntos porcentuales más que las mujeres.

Tabla 4. Porcentaje de abandono inicial (media, mínimo y máximo de los valores de cada universidad) para los grados de Matemáticas

Cohorte	2012/2013	2013/2014	2014/2015	2015/2016
Media	29,09	28,45	29,10	25,35
Mínimo	5	11	11	10
Máximo	47	42	41	57

Fuente: Conferencia de Decanos de Matemáticas (2019).

Figura 13. Evolución de la tasa media de abandono final de los estudios de grado en Matemáticas y Estadística



Fuente: Ministerio de Educación y Formación Profesional (2019).

Las altas tasas de abandono son un tema de preocupación y análisis por parte de diversas instituciones, sociedades e investigadores, como se ha puesto de manifiesto en las últimas reuniones de la Conferencia de Decanos de Matemáticas. Los estudios realizados sobre el abandono universitario muestran, en general (véase Bernardo et al., 2015), que el rendimiento académico previo, el momento de matriculación, el rendimiento en el primer curso y la asistencia a clase funcionan como variables predictoras del abandono. Se observa una correlación significativa entre la nota de admisión y la continuidad en los estudios. La probabilidad de abandono o cambio de estudios es mayor para el alumnado que se ha matriculado después del inicio de las clases. Los y las estudiantes que asisten regularmente a clase tienen menos probabilidad de abandonar o cambiar de estudios. También hay una correlación negativa entre el abandono y el número de créditos aprobados en el primer curso. De todos modos, es preciso llevar a cabo análisis similares que contemplen la especificidad de los estudios de matemáticas y estadística, particularmente por el cambio tan notable en el perfil de alumnado que se ha producido en los últimos años. Algunos estudios ya se han llevado a cabo en el seno de la Conferencia de Decanos de Matemáticas. Así, en el Grado en Matemáticas, según Corral (2017), el abandono de los estudios engloba causas muy variadas, aunque las más habituales son: el incumplimiento de los

requisitos mínimos de rendimiento que establece cada universidad, el cambio de estudios o de universidad, la incorporación al mundo laboral o el inicio de otra clase de formación.

Existe una clara correlación entre la probabilidad de abandono o cambio de estudios y la nota de admisión a la universidad. Las causas principales del abandono son la dificultad de la carrera y el gran cambio del Bachillerato a la universidad (Corral, 2017). En el análisis realizado por la Conferencia de Decanos de Matemáticas (García, 2019), se indican como otros factores, además de los ya mencionados, que pueden influir en el abandono: las influencias externas en la elección del grado (por ejemplo, la baja tasa de paro y la rápida inserción laboral), el desconocimiento de los contenidos del grado en Matemáticas y la preparación previa.

### *1.3.3. Programas de movilidad*

El número de estudiantes que participan en programas de movilidad se ha incrementado durante los últimos años, pero, a pesar de valorarse muy positivamente por todos los agentes involucrados, sigue siendo bajo, ya que no supera el 2% del total de alumnado matriculado. El tipo de movilidad más utilizado procede del programa Erasmus, con una presencia que oscila entre el 63% y el 72% del estudiantado que realiza movilizaciones en cada universidad. En segundo lugar, se encuentra el programa SICUE, cuyos porcentajes de movilidad oscilan entre un 18% y un 29% respecto al total de movilizaciones.

### *1.3.4. Dobles grados*

Con respecto a los dobles grados (o PCEO) en matemáticas y otro ámbito de estudio, los datos recogidos por el ministerio (QEDU, 2019), son los siguientes:

- Número de créditos del título: entre 315 y 396.
- Oferta de plazas: entre 10 y 60.
- Notas de corte 2017/2018: entre 8,136 y 13,667 (12,25-13,667 para dobles grados de física y matemáticas).
- Rendimiento medio 2015/2016: entre 67% y 100% (en torno al 90% para dobles grados de física y matemáticas).

Según la información recogida por la Conferencia de Decanos de Matemáticas (Otero y González, 2017), la tasa de abandono es inferior al 20% en los

dobles grados de Matemáticas y Física, menor que la de los dobles grados de Matemáticas e Ingeniería Informática y el resto de las dobles titulaciones.

El diseño y organización de los estudios de doble grado requiere una gran coordinación, especialmente cuando se combinan grados de centros diferentes. Entre los principales aspectos clave que se deben tener en cuenta están la coherencia del diseño del itinerario, los horarios y la estructura de los grupos de prácticas y de problemas

El diseño y organización de los estudios de doble grado requieren una gran coordinación, especialmente cuando se combinan grados de centros diferentes. Entre los principales aspectos clave que se deben tener en cuenta, están la coherencia del diseño del itinerario, los horarios y la estructura de los grupos de prácticas y de problemas. Es probable que ocurra que una asignatura determinada se curse en el doble grado en un curso más avanzado que en el grado correspondiente, generando una cierta heterogeneidad en el perfil de los y las estudiantes que comparten aula. También se requiere un esfuerzo especial en la gestión de los programas de movilidad hacia el extranjero, ya que no siempre es posible encontrar un número suficiente de destinos en los que los estudiantes puedan cursar asignaturas de las dos titulaciones. No obstante, los dobles grados han sido, en varias universidades, un elemento de atracción de alumnado muy capaz y han incrementado significativamente la movilidad de estudiantes entre distintas comunidades autónomas.

## **1.4. Cambios en la formación matemática**

### *1.4.1. Formación por competencias en los grados de Matemáticas y Estadística*

Los actuales planes de estudio de los títulos de grado están basados en el Real Decreto 1393/2007, de 29 de octubre, modificado por el RD 861/2010, de 2 de julio, por el que se establece la ordenación de las enseñanzas universitarias oficiales. Dichos títulos están configurados, salvo excepciones, por 240 créditos ECTS distribuidos en cuatro cursos, a razón de 60 créditos por curso. La tipología de las materias o asignaturas comprende materias básicas (60 créditos comunes a todas las universidades españolas), materias obligatorias (específicamente establecidas por cada universidad), materias optativas, prácticas externas (pueden ser obligatorias u optativas) y trabajo de fin de grado (obligatorio en todos los planes de grado). Gran parte del trabajo que se desarrolló en la elaboración de los estudios de los grados de Matemáticas y de Estadística se basó en los

respectivos Libros Blancos, elaborado por sendas comisiones de expertos (ANECA, 2005ab), que fueron previos a la configuración de estos planes de estudios y sirvieron de guía para armonizar su estructura y contenidos. Esta armonía se buscó con el objetivo de favorecer la movilidad del estudiantado, sobre la base del mutuo reconocimiento.

El objetivo fundamental del Grado en Matemáticas es proporcionar al alumnado una formación general en matemáticas, orientada a capacitar en la aplicación de las destrezas adquiridas sobre distintos ámbitos, que incluyen tanto la docencia y la investigación de las matemáticas, como sus aplicaciones para la industria, gestión y consultoría, en el contexto de la empresa y la administración

El objetivo fundamental del Grado en Matemáticas es proporcionar al alumnado una formación general en matemáticas, orientada a capacitar en la aplicación de las destrezas adquiridas sobre distintos ámbitos, que incluyen tanto la docencia y la investigación de las matemáticas, como sus aplicaciones para la industria, gestión y consultoría, en el contexto de la empresa y la administración. Por lo tanto, la formación en matemáticas requiere el diseño de una colección de actividades que debe ser coherente, centrada en los aspectos más importantes, bien articulada, y dimensionada adecuadamente en carga de trabajo para el alumnado. La enseñanza efectiva de las matemáticas requiere determinar previamente lo que los y las estudiantes conocen y necesitan aprender, así como los medios para lograr su comprensión. El aprendizaje de las matemáticas se lleva a cabo comprendiéndolas, construyendo activamente el nuevo conocimiento a partir de la experiencia y el conocimiento previo. La evaluación debe acompañar al proceso de aprendizaje, proporcionando información útil tanto al profesorado como al estudiantado sobre el progreso alcanzado. La tecnología es esencial en la enseñanza y el aprendizaje de las matemáticas, ya que influye en los contenidos que se enseñan y estimula el aprendizaje autónomo de los y las estudiantes.

El instrumento de evaluación habitualmente empleado en las asignaturas de las titulaciones de grado en Matemáticas y Estadística sigue siendo mayoritariamente una secuencia de exámenes escritos de carácter individual, focalizados en parte de los temas de la materia cursada. Complementariamente, se proponen otras herramientas de evaluación diferentes como elaboración de trabajos, con una diversidad de formatos basados en desafíos matemáticos, el análisis de artículos de investigación, diseños de procedimientos de resolución numérica de problemas, etc.

Las autoevaluaciones de las comisiones de garantía de calidad señalan que el alumnado que cursa los grados de Matemáticas y Estadística adquieren todas las competencias previstas, entre otras razones porque la redacción de las competencias es consistente con la evaluación que realizan los equipos docentes. Así lo constatan las encuestas realizadas al estudiantado y las autoevaluaciones realizadas por el profesorado, lo que demuestra que la metodología de enseñanza-aprendizaje aplicada por el personal docente es útil y se adapta a la tipología de la materia que se trate. El trabajo de fin de grado, así como la implantación de las prácticas externas, ambos como materias novedosas, lejos de suponer un obstáculo adicional al progresivo egreso de las cohortes de la titulación, ha supuesto una mejora sustancial en la formación de las y los nuevos titulados, como ocurre con otros estudios del ámbito científico-tecnológico.

En cuanto a los informes de acreditación de los distintos grados de matemáticas y estadística, emitidos por la ANECA o por la agencia de evaluación de la calidad de la comunidad autónoma correspondiente, estos son generalmente positivos. Tras una consulta exhaustiva de todos los informes emitidos respecto a los títulos de grado en Matemáticas y Estadística, recogemos a continuación algunas observaciones que son generales:

- Las metodologías docentes y los sistemas de evaluación empleados para cada una de las asignaturas contribuyen a la consecución y valoración de los resultados de aprendizaje previstos.
- Las evidencias presentadas ponen de manifiesto que, en las asignaturas de referencia, se han aplicado los sistemas de evaluación y su ponderación de conformidad con lo indicado en la memoria verificada, permitiendo una valoración fiable de los resultados de aprendizaje previstos en cada una de las mismas.
- El trabajo de fin de grado es adecuado a las características del título.
- Los resultados de aprendizaje alcanzados satisfacen los objetivos del programa formativo y se adecúan al nivel de grado.
- El perfil de las personas egresadas coincide con el que consta en la memoria verificada del título.

También se indican, en dichos informes, algunas propuestas de mejora que pueden estar relacionadas con los mecanismos de coordinación, la realización de proyectos de innovación docente, la carga de trabajo, las prácticas externas o la evaluación de los trabajos fin de grado (TFG), entre otros. En el caso especí-

fico de los grados en Estadística, los informes destacan un problema que radica en los diferentes perfiles de alumnado que ingresa en ese grado. Parte de este estudiantado está más orientado a la aplicación de la estadística al ámbito empresarial y esto está generando un porcentaje elevado de abandono en algunas de las titulaciones, especialmente vinculado al fracaso en las asignaturas de fuerte componente matemático.

En cuanto a la proyección profesional que adquieren los alumnos y alumnas de los grados de Matemáticas, se observa amplia variedad. Respecto a la capacitación para realizar estudios de posgrado, la formación de un graduado o graduada en Matemáticas es muy adecuada para realizar, posteriormente, un máster en cualquier otro campo en el que las matemáticas sean una herramienta imprescindible, con alguna formación complementaria previa, si hiciera falta. Por ejemplo, másteres en el área de economía y finanzas: banca, mercados financieros, análisis de riesgos, auditoría, etc. También en informática, TIC, telecomunicaciones, telemática, física, química o biotecnología, entre otros.

Respecto a la potencialidad como docentes, quienes se gradúan en Matemáticas son, en general, quienes están mejor preparados y preparadas para dedicarse a la enseñanza de las matemáticas en Educación Secundaria, ya que tienen un conocimiento más amplio y una mayor comprensión de la disciplina. Gracias a la formación del Grado en Matemáticas, combinada con los conocimientos de didáctica que se adquieren en el Máster de Formación de Profesorado, serán quienes partan de una base más sólida para la enseñanza de la asignatura.

Respecto a la empleabilidad dentro del mundo empresarial, los graduados y las graduadas en Matemáticas adquieren durante el desarrollo de sus estudios hábitos de trabajo y capacidad de organización que resultan de gran utilidad, como se aprecia en los datos oficiales de inserción laboral. Además, si consideramos los egresados y las egresadas en los dobles grados, las empresas suelen valorar de forma positiva que el currículum incluya dos titulaciones. Aunque todavía es pronto para realizar estudios fiables de inserción laboral en este ámbito específico, el hecho de haber cursado dos titulaciones demuestra, a priori, que el o la aspirante muestra predisposición hacia el trabajo y actitudes positivas. Además, gracias a las competencias adquiridas durante su formación cuentan con una mayor preparación para integrarse en grupos de investigación multidisciplinares o en departamentos de I+D de las empresas. No obstante, en la reciente bienal de RSME, en 2019, se planteó a debate esta situación en una mesa redonda,

planteándose objeciones por parte del alumnado de los dobles grados respecto a las dificultades que unos estudios de grado más largos y exigentes pueden suponer en el acceso a becas de investigación donde el expediente académico tiene un peso determinante. Asimismo, se señalaron algunas limitaciones derivadas de una menor profundización en algunos aspectos matemáticos respecto a quienes cursan el grado único, consecuencia de la organización de los planes de estudio.

Se han planteado objeciones respecto a las dificultades para el alumnado de los dobles grados por cursar unos estudios más largos y exigentes, lo cual puede perjudicar sus notas medias y obstaculizar su acceso a becas de investigación

#### 1.4.2. *Uso de la tecnología*

El uso de las tecnologías informáticas en la docencia de los grados de Matemáticas se ha incorporado a los contenidos y metodologías docentes de muchas asignaturas, debido principalmente al papel que desempeñan como continuación natural de la clase teórico-práctica, favoreciendo la comprensión y la visualización de conceptos mediante diferentes herramientas técnicas y geométricas aplicables al ámbito matemático.

Las memorias de verificación de las titulaciones de grado en Matemáticas recogen oportunamente entre sus competencias específicas, las dos siguientes, o algunas muy similares:

- Utilizar aplicaciones informáticas de análisis estadístico, cálculo numérico y simbólico, visualización gráfica, optimización u otras para experimentar en matemáticas y resolver problemas.
- Desarrollar programas que resuelvan problemas matemáticos utilizando para cada caso el entorno computacional adecuado.

La mayoría de los planes de estudios tiene al menos una asignatura, de entre 6 y 12 créditos, que suele ser básica, denominada Programación, Laboratorio, Herramientas informáticas o similar, donde se aprende, además de nociones generales básicas, algún lenguaje de programación concreto, entre los que destacan como más comunes C, C++ y Python, entre otros.

El *software* matemático, que proponen los departamentos encargados de la docencia de las asignaturas, suele contener las utilidades necesarias para la

realización de prácticas, facilitando al alumnado una rápida asimilación de las instrucciones que le permitan la implementación de cálculos y la obtención de visualizaciones. Consecuentemente, en la organización docente de muchas asignaturas se establece un cierto número de horas de actividades con ordenador, en sesiones específicas para trabajar con el programa adecuado. Estas clases pueden, según el caso, limitarse a unas pocas horas o extenderse a una parte importante de la asignatura como, por ejemplo, en el caso de cálculo numérico u otras materias con un enfoque computacional.

Existen excelentes programas comerciales para apoyar la docencia y la investigación en matemáticas: Mathematica, Maple, MatLab, SPSS, Sage, etc., y otros de *software* libre como Geogebra, Octave, Maxima, R, Scilab, etc. La decisión de emplear uno u otro suele estar relacionada con las posibilidades económicas de la universidad a la hora de negociar el precio de la licencia para su uso académico, o por ampliar la oferta de *software* libre para el alumnado. Así como ocurre en el campo de la investigación, se está generalizando el uso del programa LaTeX como editor de textos en matemáticas.

La recomendación de uso de estos programas se manifiesta también en la bibliografía recomendada. Reseñamos algunos ejemplos encontrados en las guías didácticas de las asignaturas:

- El libro *Geometría Diferencial de Curvas y Superficies con Mathematica*, de Cordero, Fernández y Garay (1995), Addison-Wesley, se usa como texto de consulta para la asignatura “Geometría Diferencial de Curvas y Superficies” (2º curso en el Grado de Matemáticas por la Universidad de Málaga).
- El texto *Cálculo científico con Matlab y Octave*, de Quarternoni y Saleri (2006), Springer, forma parte de la bibliografía recomendada de la asignatura “Cálculo Numérico” (1º curso del Grado en Matemáticas por la Universidad Autónoma de Madrid) y de la asignatura “Modelización Matemática” (curso 3º en el Grado de Matemáticas por la Universidad de Sevilla).
- El libro *Probability and Statistics with R*, de Ugarte, Militino, y Arnholt, (2008), Chapman and Hall/CRC Press, se recoge entre las lecturas recomendadas para la materia “Inferencia Estadística” (curso 3º en el Grado de Matemáticas por la Universidad de Granada).

### *1.4.3. La evaluación de los trabajos de fin de grado en Matemáticas y Estadística*

El Trabajo de Fin de Grado (TFG) constituye una asignatura específica del plan de estudios, de entre 6 y 18 créditos (aunque 12 créditos es la carga más frecuente) y consiste en un estudio de ampliación y profundización sobre un tema de carácter matemático puro o aplicado, en el que se apliquen las competencias transversales del grado, tales como la búsqueda de información, competencias generales como “Comunicar información, ideas, problemas y soluciones del ámbito matemático a un público tanto especializado como no especializado” o “Aprender de forma autónoma nuevos conocimientos y técnicas”, y competencias específicas de algunas de las asignaturas cursadas. Por lo tanto, el TFG resulta una buena manera de evaluar las competencias adquiridas por el alumnado.

El TFG se realiza bajo la dirección del profesorado. Los resultados y las conclusiones del TFG se presentan de forma escrita, en una memoria de formato preestablecido y de forma oral, mediante una exposición pública. Se valora que la introducción y organización del tema estudiado sea original, aunque no se trata de un trabajo de investigación propiamente dicho, con aportaciones científicas originales. El desarrollo del tema del TFG se fundamenta, principalmente, en el análisis de la bibliografía consultada y el trabajo personal del o de la estudiante, que puede consistir, por ejemplo, en:

- Resolución detallada de ejercicios y problemas de los encontrados en los libros.
- Desarrollar algún tema no incluido en el currículo.
- Completar los detalles de algunas demostraciones.
- Introducir ejemplos novedosos.
- Llevar a cabo un estudio estadístico completo.
- Escribir un programa para la aplicación de un algoritmo.

La evaluación del TFG se lleva a cabo, generalmente, por un tribunal compuesto por profesorado de la titulación. El nivel de detalle de los criterios de evaluación de los trabajos presenta bastantes variaciones de un centro universitario a otro. Va desde el establecimiento de unos porcentajes orientativos de peso para el propio contenido del trabajo, para la redacción y presentación de la memoria y para la exposición oral, hasta una rúbrica amplia y detallada que se aplica en la evaluación de los diferentes aspectos del TFG. El tutor o la tutora del trabajo

redacta un informe confidencial de la labor realizada por el alumno o la alumna, que entrega al tribunal para que forme parte de la información que se debe considerar en la evaluación.

## 2. ENSEÑANZA DE LAS MATEMÁTICAS MÁS ALLÁ DE LAS FACULTADES DE MATEMÁTICAS

### 2.1. Las matemáticas en los estudios de economía y empresa

En el curso académico 2016/2017 existían 86 títulos de grado en Administración y Dirección de Empresas (ADE) en centros propios en universidades públicas presenciales, 45 grados de Economía (ECO), 35 de Contabilidad y Finanzas y 17 de Marketing e Investigación de Mercados. Del total de nuevo alumnado matriculado en la universidad española, aproximadamente el 15% correspondía a estos grados. Se trata, obviamente de un grupo muy importante de alumnado, por su relevancia sobre el total del sistema universitario.

Las asignaturas de matemáticas aplicadas a la economía, la empresa o el *marketing* están presentes en todos estos grados, con mayor o menor presencia, dependiendo del plan de estudios de cada universidad.

Como ya es sabido, la competencia matemática es una competencia básica en la ESO, donde el alumnado ha de adquirir capacidades que le permitan pensar y razonar matemáticamente, plantear y resolver problemas, utilizar un lenguaje simbólico y emplear herramientas y soportes tecnológicos. Sin embargo, existe una preocupación manifiesta en las facultades de economía y empresa por el creciente deterioro observado en la formación matemática que posee el nuevo alumnado cada curso, lo cual redundará en los resultados de las asignaturas de matemáticas que se imparten en los grados de economía, empresa, *marketing* y afines. La tasa de rendimiento (el número total de créditos superados por todo el estudiantado matriculado en una asignatura respecto al número total de créditos matriculados) en la asignatura básica de primer curso, Matemáticas para la Empresa (o denominaciones análogas), está alrededor del 40% en la mayoría de facultades en las que se imparte el Grado en ADE. La tasa de éxito (el número de créditos superados respecto al número total de créditos presentados) ronda en esta asignatura el 50%. Estos indicadores son un poco superiores en las asignaturas cuantitativas básicas de los otros grados del ámbito de la economía, situándose en torno al 60% la tasa de rendimiento y del 70% la de éxito.

La heterogeneidad de los itinerarios preuniversitarios constituye una dificultad que condiciona el éxito de las programaciones docentes de las asignaturas de matemáticas en los cursos iniciales de los grados de economía y empresa

Ante esto urge apelar y cuidar con responsabilidad los niveles en formación cuantitativa en las propias titulaciones. En casi la totalidad de las facultades de economía y empresa se ha puesto en marcha una asignatura inicial de matemáticas de nivel preuniversitario en sus respectivos grados, pero la realidad es que no ha contribuido a solucionar realmente el problema. Las carencias detectadas en el alumnado son de importante magnitud y resultan de muy difícil solución para que el o la estudiante pueda afrontar los contenidos propios de las materias que forman su plan de estudios universitario en la temporalización prevista. La heterogeneidad de los itinerarios preuniversitarios constituye una dificultad que condiciona el éxito de las programaciones docentes de las asignaturas iniciales en estudios universitarios. Por ello, varias universidades, instituciones y asociaciones se han pronunciado acerca de la necesidad de diseñar asignaturas de matemáticas adaptadas al correspondiente itinerario.

Algunos trabajos presentados en las Jornadas de ASEPUMA (Asociación Nacional de Profesores Universitarios de Matemáticas para la Economía y la Empresa, <http://www.asepuma.org/>) inciden en la necesidad de orientar a los candidatos y candidatas a estudiar titulaciones en economía y empresa hacia una cultura matemática profunda como herramienta para el razonamiento y la gestión eficiente de los recursos públicos y privados (en la revista “Anales de ASEPUMA”, <http://asepuma.org/revistaanales.php>, pueden consultarse diversos trabajos sobre este tema). Es preocupante observar cómo la posibilidad de elegir libremente las materias de modalidad específica, o incluso el propio organigrama de los centros educativos, hace posible superar el Bachillerato sin haber adquirido ningún tipo de formación matemática durante dicha etapa. Y este perfil de alumnado puede terminar accediendo a los grados de las facultades de Economía y Empresa.

Es preocupante que alumnado que no ha tenido formación matemática durante el Bachillerato pueda acceder a los grados de economía y empresa, por las dificultades que esta carencia formativa le va a acarrear

En los itinerarios previstos en Bachillerato, las sucesivas reformas han incidido al alza en los aspectos más intuitivos y gráficos de los temarios para las Ma-

temáticas para Ciencias Sociales, pero perdiendo cierto nivel de profundización en cuestiones básicas como el cálculo de límites o derivadas, o el cálculo integral.

Una experiencia realizada con alumnado de la Universidad de La Laguna (Carrillo Fernández, et al, 2014) permitió evidenciar que una buena nota en PAU no indicaba necesariamente un bagaje matemático adecuado para afrontar con éxito las asignaturas matemáticas de estos grados universitarios. También permitió contrastar estadísticamente y avalar la mejor preparación del estudiantado procedente de Matemáticas II (modalidad Ciencias) en relación con los de Matemáticas Aplicadas a las Ciencias Sociales II para superar con éxito las matemáticas de los grados económicos. Otros trabajos realizados en distintas universidades (Busto Caballero, Calvo Martín y Escribano Ródenas, 2006; Vázquez Cueto, 2009; Carrillo Fernández, González Concepción y Sosa Martín, 2012; Carrillo Fernández et al., 2013) aplican la misma metodología para estudios similares sobre las consecuencias de la formación matemática preuniversitaria en los estudios de economía y empresa de la universidad española en general.

En el seno de ASEPUMA se considera que la Evaluación de Bachillerato para el Acceso a la Universidad (EBAU o EvAU, según la comunidad autónoma) no garantiza que el alumnado logre un nivel adecuado para poder incorporarse a la enseñanza universitaria. Desde ASEPUMA se considera que los contenidos de las Matemáticas Aplicadas a las Ciencias Sociales II son insuficientes para los grados de las facultades de Economía y Empresa y que las Matemáticas II se adaptan más al nivel de las asignaturas cuantitativas en la universidad.

Esta es una reflexión que se ha debatido en el seno de la Comisión de Educación de la RSME y que no se comparte en su totalidad, si bien consideramos interesante incluirla en este Libro Blanco, por la importancia que tiene este colectivo de profesorado y alumnado en el sistema universitario español. Una posible solución que se apunta desde ASEPUMA sería la creación en los itinerarios de Bachillerato de unas “Matemáticas para Economía y Empresa” que combinen los bloques de análisis y álgebra de Matemáticas II y la estadística de Matemáticas Aplicadas a las Ciencias Sociales II, con idéntica importancia a estos tres grandes bloques de contenido. También desde esta organización se defiende que se valore la posibilidad de implantar una prueba específica de admisión para cada grado, aunque este aspecto supone una complejidad organizativa muy grande y podría tener consecuencias no deseadas en la equidad del sistema educativo, porque podría limitar las posibilidades de concurrir a exámenes del alumnado con menos

recursos. Desde RSME apuntamos, también, a otras actuaciones posibles, como pueden ser aumentar la carga formativa en matemáticas dentro de los grados de la rama económica, alinear el contenido de estas asignaturas con el currículo real seguido por la mayoría del estudiantado de nuevo ingreso o trabajar activamente en la elaboración de pruebas de acceso a la universidad que evalúen aquellas competencias del currículo de Matemáticas Aplicadas a las Ciencias Sociales II que tengan más incidencia en el futuro desempeño en estos grados.

## 2.2. Las matemáticas en las ingenierías

El análisis de las matemáticas en las ingenierías es complejo, ya que ha habido una importante proliferación de nuevas titulaciones. En general, podríamos afirmar que en este ámbito se ha producido una reducción considerable del número de créditos de matemáticas en las titulaciones tradicionales, que ha ido acompañada del establecimiento de nuevos títulos con un déficit de partida en la formación en matemáticas. Así, de la tradicional buena formación matemática de ingenieros e ingenieras y arquitectos y arquitectas en nuestro país, hemos pasado a personas tituladas en Ingeniería y Arquitectura más *algoritmizados* y menos capaces de trabajar con la modelización matemática, como ilustraremos a continuación. Esta sólida formación matemática en las ingenierías españolas era un valor muy apreciado internacionalmente. Como señala Michael Ortiz en su discurso de investidura como doctor *honoris causa* por la Universidad Politécnica de Madrid (2019), España se inserta en la tradición “de gran ingeniero enciclopédico al estilo francés”, frente “ingeniero utilitario al estilo anglosajón”. En esta tradición de raigambre francesa, la formación en ingeniería abarca múltiples disciplinas relacionadas con las matemáticas, la mecánica, la física o la química, lo que da lugar al ingeniero concebido como “profesional de elite”.

De la tradicional buena formación matemática de ingenieros e ingenieras y arquitectos y arquitectas en nuestro país, hemos pasado a personas tituladas en ingeniería y arquitectura más algoritmizados y menos capaces de trabajar con la modelización matemática

En el análisis que vamos a hacer a continuación fijaremos nuestra atención en los créditos de matemáticas de asignaturas básicas. En el caso de las titulaciones tradicionales, vamos a centrarnos en estudiar un ejemplo, que consideramos que es paradigmático y podría ser extensible, con pocas variaciones, a otras titulaciones técnicas. Si consideramos los estudios de Ingeniería Civil (antigua Ingenie-

ría de Caminos, Canales y Puertos) y las Universidades Politécnicas de Madrid, Cataluña y Valencia en sus planes de estudios de seis años (Ministerio de Educación y Ciencia, 1982, 1983ab), había dos asignaturas anuales en primer curso, Álgebra y Cálculo, de 6 horas semanales cada una, que en el caso de la Escuela de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos de Barcelona era una asignatura anual de Matemáticas (Cálculo y Álgebra) de 10 hora semanales. En el segundo curso había, en el caso de la Universidad Politécnica de Madrid, dos asignaturas anuales, una de Análisis Matemático de 6 horas semanales y una de Métodos Matemáticos de las Técnicas de 6 horas semanales. En el caso de la Escuela de Barcelona, solo había una de Matemáticas (Cálculo Infinitesimal y Geometría Diferencial) de 8 horas semanales. En la Universitat Politècnica de València, había dos asignaturas anuales en segundo curso, Análisis Matemático I y II, de 5 horas semanales cada una. En el tercer curso, en la Politécnica de Madrid se encuentran dos asignaturas, Ecuaciones diferenciales y Cálculo Numérico de 5 horas semanales y una de Estadística de 4 horas semanales. En la escuela de Barcelona había una asignatura cuatrimestral de Matemáticas, de 4 horas semanales y una asignatura anual de Estadística de 4 horas semanales. En la Universitat Politècnica de València existía una asignatura de tercer curso de Estadística de 3 horas semanales y una de Cálculo Numérico y Electrónico de 3 horas semanales en cuarto curso, ambas anuales. Aparte de estas asignaturas, había otras de matemáticas, o directamente relacionadas con ellas, como Métodos Físico-Matemáticos de las Técnicas (4 horas semanales), Ecuaciones de la Física-Matemática (3 horas semanales). El cálculo en créditos no es sencillo, pero suponiendo un curso de unas 27 semanas lectivas, el número de créditos de matemáticas o relacionado con las matemáticas oscilaría entre los casi 65 créditos de la Escuela de Barcelona y los más de 89 de la Universidad Politécnica de Madrid. Si se tienen en cuenta las asignaturas de contenido matemático próximas al área, en la Universitat Politècnica de València el número de créditos relacionados con las matemáticas era superior, pasaría de 75 hasta casi los 95 créditos.

En la década de los 90 se produce un cambio en los planes de estudios de Barcelona (Universidad Politécnica de Cataluña, 1995) y Valencia (Universidad Politécnica de Valencia, 1997), permaneciendo Madrid con su plan de seis años, y los estudios se estructuran en dos ciclos de duración variable entre cuatro y cinco años aunque, en la práctica, el total fue de cinco años en todas las Escuelas que adaptaron su plan (este proceso se describe en ANECA, 2015). En Barcelona tenemos Álgebra y Geometría de 12 créditos, Cálculo de 12 créditos, Ecuaciones

diferenciales de 7,5 créditos, todas como materias obligatorias, y Ampliación de Matemáticas de 9 créditos, Métodos Numéricos I de 3 créditos y Métodos Numéricos II de 9 créditos, como materias troncales. En la Universitat Politècnica de València encontramos una asignatura de Álgebra Lineal de 10,5, una de Ecuaciones Diferenciales de 9 créditos y una de Estadística II de 4,5 créditos, como materias obligatorias, y una asignatura de Cálculo de 10,5 créditos, una asignatura de Estadística I de 4,5 créditos y una asignatura de Métodos Numéricos de 7,5 créditos, como asignaturas troncales. Además, había una asignatura optativa, Matemáticas Asistidas por Ordenador, de 4,5 créditos. De nuevo aparecen otras asignaturas relacionadas con las matemáticas como son Ecuaciones de la Física Matemática (6 créditos) y Fundamentos Físicos de la Técnica (6 créditos). Aquí hay que hacer constar que no se han contabilizado asignaturas de libre elección de contenido matemático, que las había en número desigual, pero que en cualquier caso no eran cursadas por la totalidad del alumnado. Si nos ceñimos a la troncalidad más la obligatoriedad, tenemos 52,5 créditos en el caso de la Universitat Politècnica de Catalunya y 51 en el caso de la Universitat Politècnica de València, lo que representa una reducción en ambos, pero más importante en el caso de la Politècnica de València, que partía con un número superior de créditos, aunque como se indicó en el párrafo anterior, el paso de horas semanales a créditos se ha hecho con carácter estimativo.

La adaptación de la titulación al Espacio Europeo de la Educación superior llevó consigo una reducción del número de créditos. Por consiguiente, esta afectó a las asignaturas de contenido matemático de tal forma que la formación en matemáticas ha quedado reducida a dos o tres asignaturas en primer curso y una o dos en segundo, según la universidad, en casi todos los casos cuatrimestrales, y siendo esa la totalidad de la formación en matemáticas durante el grado, antes del acceso a un máster. Si miramos, de nuevo, a la Universitat Politècnica de Catalunya, en el Grado de Ingeniería Civil entre primero y segundo curso hay 37,5 créditos de matemáticas repartidos en cuatro asignaturas: Álgebra y Geometría de 6 créditos, Fundamentos Matemáticos de 6 créditos, Cálculo (anual) de 9 créditos, Geometría Diferencial y Ecuaciones Diferenciales de 9 créditos y una asignatura de Probabilidad y Estadística de 7,5 créditos. Si ahora miramos al Grado de Ingeniería Civil por la Universidad Politécnica de Madrid, aparece un Álgebra Lineal y Geometría Analítica de 6 créditos, un Cálculo I y Cálculo II de 6 créditos cada una, Estadística y Optimización de 6 créditos, todo ello en primero. En segundo, hay una asignatura de Ecuaciones Diferenciales de 4,5

créditos, lo que suma un total de 28,5 créditos. Por último, si tomamos el caso de la Universitat Politècnica de València tenemos una asignatura de Fundamentos Matemáticos de la Ingeniería Civil de 7,5 créditos y otra de Métodos Matemáticos de la Ingeniería civil de 6 créditos, una asignatura de Estadística Básica de 4,5 créditos y una asignatura de segundo curso de Ampliación de Matemáticas de 6 créditos, haciendo un total de 24 créditos. Vemos que en alguno de los casos la reducción ha sido de más del 50%.

La implantación del plan Bolonia ha traído consigo una nueva reducción respecto a la situación anterior de los créditos básicos de matemáticas, dejando únicamente aquellos que eran troncales. Si comparamos los créditos totales, básicos o no, la reducción de contenidos de matemáticas es muy sustancial. En la práctica, esta situación ha reportado consecuencias no deseables, con una contracción de los temarios que ha dejado su contenido real en un nivel instrumental básico y, en algunos casos, carente de la ilación necesaria dentro de la propia disciplina y de su relación con otras materias, como pueda ser la física.

La implantación del plan Bolonia ha traído consigo una nueva y sustancial reducción de los créditos de matemáticas, básicos o no. Esta situación ha supuesto una contracción de los temarios que ha dejado su contenido real en un nivel instrumental

Respecto al segundo punto, de cómo las nuevas titulaciones han nacido con una carga deficitaria en contenido de matemáticas, podemos poner como ejemplo el Grado en Ingeniería Biomédica. Si tomamos como referencia de nuevo las mismas tres universidades encontramos que, en la Politécnica de Madrid (Universidad Politécnica de Madrid, 2019), dicho grado tiene las siguientes asignaturas de matemáticas: Matemáticas I, II y III de 6 créditos cada una respectivamente, Estadística de 6 créditos y Modelos Numéricos en Biomedicina de 6 créditos, lo que hace un total de 30 créditos. En el caso de la Politécnica de Catalunya (Universitat Politècnica de Catalunya, 2019), el Grado en Ingeniería Biomédica tiene una asignatura de Cálculo de 6 créditos, Álgebra y Cálculo Multivariable de 6 créditos, Estadística de 6 créditos y Cálculo Numérico-Ecuaciones Diferenciales de 6 créditos que hace un total de 24 créditos. En el caso de la Universitat Politècnica de València (Universitat Politècnica de València, 2019), tenemos Matemáticas I y II de 6 créditos cada una, Matemáticas III de 4,5 créditos y Métodos Numéricos, de 4,5 créditos, que hace un total de 21. Es decir, existe una variabilidad de 9 créditos de formación en matemáticas para una misma titulación dependiendo de la universidad donde se curse.

En términos generales, podemos decir que en la actualidad la reducción de la formación en matemáticas en ingeniería y tecnología ha sido muy importante y que, a la vista de la evolución de las actividades tecnológicas relacionadas con la llamada nueva industria, no parece que esta formación vaya a satisfacer en su totalidad las demandas sociales y del sector productivo. Esta muestra de la reducción de créditos solo viene a hacer una llamada de atención al hecho de que se hayan sacrificado contenidos de carácter formativo general y básico por una enseñanza mucho más orientada hacia la especificidad, restando versatilidad a los futuros ingenieros e ingenieras sobre las transformaciones de su propia actividad, que cada vez es más rápida. Sin embargo, no se debe deducir de estas palabras que lo que se plantea desde estas líneas es una vuelta a los contenidos matemáticos de antaño. La formación en matemática en ingeniería y tecnología debe aumentar si queremos garantizar un desarrollo profesional completo, pero lo debe hacer a la luz de nuevos paradigmas matemáticos, haciendo mucho más hincapié en la resolución de problemas abiertos en contextos reales, la modelización, el uso con criterio matemático de herramienta computacionales, etc.

La formación en matemática en ingeniería y tecnología debe aumentar, pero lo debe hacer a la luz de nuevos paradigmas matemáticos, haciendo mucho más hincapié en la resolución de problemas abiertos en contextos reales, la modelización, el uso con criterio matemático de herramienta computacionales

Esta evolución está arraigando entre el profesorado y, así, encontramos grupos que, habiendo nacido como redes de investigación, están incluyendo entre sus actividades estas preocupaciones por mejorar el aprendizaje y la enseñanza de la matemática del alumnado no matemático como, por ejemplo, la Red ALAMA (<http://www.red-alama.es/>).

### **2.3. Las matemáticas en Ciencias Experimentales y de la Salud**

En el caso de estos estudios, no incluiremos un análisis exhaustivo como se ha hecho en el caso de economía y empresa y de ingenierías porque la evolución, aunque parecida, no ha sido tan dramática.

En general, se constata que en los grados de ciencias experimentales se han mantenido o reducido (no ampliado) las asignaturas de matemáticas, pero se ha producido prácticamente en todos los casos un fenómeno similar al de ingenierías. Las asignaturas de matemáticas se han ubicado mayoritariamente en los primeros cursos, lo que debilita sus posibilidades de profundización y facilita el fenó-

meno de conversión en asignaturas algorítmicas que ya se señaló anteriormente. Esta ubicación en el plan de estudios motiva que el alumnado primero, estudie las matemáticas desde un punto de vista poco contextualizado y, después, estudie los contextos de uso de esa matemática, lo que debilita la conexión y facilita la visión instrumental de la matemática, a veces reducida a un conjunto de recetas.

En el caso de las ciencias de la salud, prácticamente la única matemática presente es la que se refiere a las asignaturas de estadística o bioestadística, también con un enfoque muy instrumental y, en algunos casos, ligadas a la epidemiología (incluso compartiendo asignatura). A pesar de la importancia que tiene en la investigación biomédica, las asignaturas de bioestadística suelen estar acotadas en los primeros cursos.

### 3. LA FORMACIÓN DE MÁSTER EN MATEMÁTICAS

#### 3.1. Introducción

Uno de los cambios más importantes que ha traído el plan Bolonia ha sido el del posgrado, tanto desde la perspectiva de los contenidos como de la organización de las titulaciones. El caso español constaba, en general, de carreras de cinco años con especialización fundamentalmente vertical y en las que el alumnado elegía asignaturas que se ofertaban en función del profesorado disponible y con un trasvase prácticamente nulo entre diferentes especialidades. La nueva estructura de grado más máster ha establecido una situación mucho más abierta donde el alumnado tiene muchas más opciones con las que formarse. El más relevante concierne a la distribución de contenidos, ya que las antiguas carreras universitarias permitían impartir mayor cantidad de contenidos y ahora los grados son mucho más generalistas y, por lo tanto, carentes de algunos contenidos que no pueden ser exigidos como previos al máster. Otra debilidad del sistema es que la variedad en la elección lleva implícita una movilidad que no siempre está al alcance de aquel alumnado con menos recursos, siendo la política de becas bastante restrictiva.

Hay una inflación en la oferta de másteres y se desaprovechan las capacidades del profesorado y personal investigador de matemáticas, que podrían dar lugar a ofertas muy potentes

Existen además otros problemas de índole institucional o administrativa que condicionan y constriñen el desarrollo de una estructura más abierta en el pos-

grado español. Por citar alguno, la diferente duración del grado y el máster en Europa, siendo mayoritaria la fórmula 3+2 años frente a la española de 4+1, no pone fácil el intercambio de estudiantes ni el desarrollo de másteres interuniversitarios con centros extranjeros. En el caso de las matemáticas, es una restricción limitante si uno la compara con el grado de imbricación del profesorado y personal investigador en matemáticas en el ámbito europeo, siendo una disciplina con un muy alto grado de internacionalización. Si nos restringimos al contexto nacional, la cuestión de los másteres interuniversitarios presenta un escenario similar. Actualmente, la diferente organización administrativa de las universidades representa un freno importante en el desarrollo de másteres interuniversitarios, lo cual es un factor limitante en dos sentidos: hay una inflación en la oferta de másteres y se desaprovechan las capacidades del profesorado y personal investigador de matemáticas, que podrían dar lugar a ofertas muy potentes. Los criterios de las autoridades educativas autonómicas y de las propias universidades no favorecen aquellos estudios de máster que son minoritarios, pero altamente demandados. Como ejemplo de estos másteres con gran demanda organizados conjuntamente podemos citar el Máster Universitario en Investigación Matemática de la Universitat Politècnica de València y la Universitat de València o el máster ofrecido entre varias universidades que tienen Grado de Matemáticas como el Máster Interuniversitario en Matemáticas de las Universidades de Granada, Almería, Cádiz, Jaén y Málaga. En cualquier caso, la nueva estructura de estudios de grado, no solo de Matemáticas, ha generado un panorama más diverso respecto a los másteres.

### 3.2. Estudios de máster

La oferta actual de másteres universitarios para graduados y graduadas en Matemáticas la podríamos clasificar en varios grupos.

El primero, y más numeroso, lo constituyen aquellos másteres que son herederos de la antigua estructura de títulos de licenciado, donde existía un quinto año correspondiente a la especialización. Muchos másteres de los que se imparten actualmente en España, la mayoría de ellos agrupados bajo los epígrafes en el título de “Investigación Matemática” o “Matemáticas Avanzadas”, tienen una estructura muy similar, tanto en materias como en distribución de créditos, que recuerdan, con pequeñas variaciones, a las especialidades clásicas: análisis, álgebra, topología y geometría, estadística y probabilidad, y normalmente complementadas con diversas asignaturas entre las que se encuentran alguna de ecua-

ciones en derivadas parciales, sistemas dinámicos, optimización, etc. La gran mayoría de estos másteres, a diferencia del antiguo curso de especialización de las licenciaturas, plantean una formación dirigida hacia el doctorado y la investigación, algunas veces con matices, pues hay másteres que indican que pretenden ser de utilidad a quienes deseen encauzar su actividad en la banca, los seguros o un ámbito profesional, en general. En los másteres de este tipo se incluyen materias dirigidas a ciertas salidas profesionales, principalmente, en el mundo de las finanzas y los seguros (en cuyo caso ganan peso los bloques de estadística y, en ocasiones, de modelización). Sería deseable establecer un reconocimiento parcial de créditos entre varios de estos másteres y otros de investigación o formación didáctica, como ocurre en la Universidad de Murcia, donde se oferta la realización simultánea de un máster de investigación junto al de Formación del Profesorado en la especialidad de matemáticas.

Existe un segundo grupo de másteres de estructura mucho más heterogénea, en donde se trata de recoger a las personas egresadas de matemáticas para conducirlos hacia contenidos más aplicados, no necesariamente ajenos a la investigación, pero sí que incluyen áreas más allá de las tradicionales de investigación en matemáticas. Tal es el caso, por ejemplo, el Máster Interuniversitario en Matemática Industrial (de las Universidades Carlos III de Madrid, A Coruña, Politécnica de Madrid, Santiago de Compostela y Vigo), el Máster Universitario en Ingeniería Matemática de la Universidad Carlos III de Madrid o el ya mencionado en Investigación Matemática de la Universitat Politècnica de València y la Universitat de València. Mención aparte dentro de este grupo merecen los másteres en física y matemáticas, como los que se ofrecen en la Universidad de Salamanca o la de Granada. Son másteres de física teórica que, en general, incorporan asignaturas de análisis funcional, geometría y topología algebraica, ecuaciones diferenciales en derivadas parciales, etc.

Por último, hay un tercer gran grupo de másteres que podríamos denominar de disciplinas específicas, destacando en particular aquellos que involucran áreas de ciencias de la computación, ciencia de datos, biología, etc. Véanse, por ejemplo, el Máster Universitario en Sistemas Inteligentes y Aplicaciones Numéricas en Ingeniería (Universidad de Las Palmas de Gran Canaria), el Máster Interuniversitario en Tratamiento Estadístico-Computacional de la Información (Universidades Complutense y Politécnica de Madrid), el Máster Universitario en Estadística para la Ciencia de Datos (Universidad Carlos III de Madrid), el Máster Interuniversitario en Ciencia de Datos (Universidad de Cantabria y

UIMP), el Máster Universitario en Bioestadística (Universidad Complutense de Madrid) o el Máster Universitario en Bioinformática (Universidad Autónoma de Barcelona). También en el área de Ciencias Sociales se están desarrollando másteres de banca y finanzas con una gran carga cuantitativa de estadística y matemáticas, como, por ejemplo, el Máster Universitario en Banca y Finanzas Cuantitativas (Universitat de València) o el Máster Universitario en Ciencias Actuariales y Financieras (Universidad Carlos III de Madrid).

En la tabla 5 se muestran los datos de matrícula en másteres oficiales en universidades públicas en formato numérico incluyendo la variación interanual de la matrícula. En el caso de estadística se incluyen también los másteres relacionados con *big data* y ciencia de datos.

**Tabla 5. Matrícula en másteres oficiales (universidades públicas) de matemáticas**

Matriculados en máster (universidades públicas)	2013/2014	2014/2015	2015/2016	2016/2017	2017/2018
Matemáticas	392	368	494	564	513
Var. Interanual matemáticas		-6,12%	34,24%	14,17%	-9,04%
Estadística	556	601	377	487	621
Var. Interanual estadística		8,09%	-37,27%	29,18%	27,52%

*Fuente:* Ministerio de Educación y Formación Profesional (2019).

Un comentario que resulta imprescindible cuando se habla de estudios de máster es el relativo a la enorme dificultad de establecer un seguimiento de los programas universidad a universidad. Esto se debe a varios factores. En primer lugar, los cambios de denominación de los másteres (lo que dificulta su rastreo en las bases de datos oficiales), ya que su ciclo de verificación/acreditación es mucho más corto que el de los grados, lo que permite que las universidades organizadoras realicen cambios con mayor velocidad. En segundo lugar, está la enorme volatilidad de la oferta de máster, muy sujeta no solo a los cambios que se acaban de describir, sino también a la supervivencia con respecto a la demanda. Son muchas las universidades que condicionan la impartición de un máster a un número mínimo de estudiantado matriculado, con lo que nos podemos encontrar con másteres que aparecen y desaparecen alternativamente de unos cursos a otros, o con másteres que reaparecen con una denominación ligeramente diferente. Esto muestra la necesidad de presentar la información de manera agregada dada la gran volatilidad, pero que vaticina una tendencia al alza no monótona.

### 3.3. Perspectivas de futuro, recomendaciones y ejemplos de otros países

Entre las diversas cuestiones que se le plantean al posgrado en España, aparte del debate entre los esquemas de 3+2 o 4+1, al parecer pospuesto (al menos por el momento), hay varias que nos gustaría destacar.

En primer lugar, el posgrado se ha visto afectado por el proceso de adaptación de las antiguas estructuras de doctorado. Posiblemente no sea solo un problema de diseño curricular, sino también de inercias de las estructuras heredadas del pasado. La nueva situación ha dejado sin cubrir, de manera específica, una parte de la formación predoctoral que, de forma acertada, se considera que se debe hacer en el grupo de investigación; por un lado, no existen los recursos para llevarla a cabo (ya que no todos los grupos de investigación han tenido un acceso regular a financiación para estos fines, especialmente, en los últimos años) y, por otro, no está clara la conexión entre la formación recibida en el máster y el paso a los grupos de investigación. Esto produce un cierto desajuste entre la formación del máster y la formación predoctoral que tensiona el sistema, sobre todo para aquellos másteres cuya función principal es la formación de los graduados y graduadas como antesala al doctorado.

En particular, los másteres pertenecientes al primer grupo que se ha identificado previamente son aquellos que están sufriendo de manera más acusada la reducción de la financiación de la investigación, pues la falta de becas ha producido un decremento drástico en el número de alumnado que se forma. Lo cierto es que las matemáticas españolas, a nivel de investigación, tiene grupos de muy alto nivel, pero para captar estudiantado con que nutrir dichos grupos debería existir una mejor conexión entre los grupos y los estudios de máster orientados al doctorado. Es por ello que sería deseable caminar hacia un modelo generalizado de colaboración, quizá mediante másteres interuniversitarios, aunando esfuerzos entre grupos de investigación de la misma área, pero dispersos geográficamente. Solo sumando empeños se puede garantizar una continuidad razonable de líneas de investigación en las que España se mantenga en vanguardia. Para ello se deberán sortear no pocos obstáculos como la financiación, la diferente organización administrativa de las universidades involucradas, la adopción de metodologías docentes basadas en la no presencialidad, para facilitar la asistencia de alumnado no desplazado, etc. Y, en términos generales, debemos concebir másteres organizados en forma de red, descentralizados y que necesitarán recursos para la organización y la coordinación de profesorado, estudiantado y admi-

nistración. Algunas de las experiencias interuniversitarias que se están llevando a cabo actualmente avanzan posibles soluciones a estos problemas, como la gobernanza o las metodologías docentes, pero, en general, la mayoría de las y los coordinadores señalan las dificultades administrativas y la dispersión normativa de cada universidad como el principal obstáculo en la gestión de los programas interuniversitarios. De esa misma manera se podría captar alumnado extranjero principalmente latinoamericano.

Por otro lado, también sería muy importante que se produjera un fenómeno inverso al descrito anteriormente. En la actualidad, hay gran cantidad de másteres en diversas disciplinas nombradas en este documento (ingeniería, ciencia de datos, computación física, biología, etc.) en los que las matemáticas juegan un papel central. La existencia de estos másteres sería una oportunidad excelente para que los grados de Matemáticas incorporaran elementos de estas disciplinas, caminando hacia una estructura más multidisciplinar y transversal en la formación de matemáticos. Los grados de Matemáticas deberían tener una mirada más amplia, sin renunciar a formar personal graduado que trabaje en las áreas y temas clásicos de las matemáticas, para conseguir, a fin de cuentas, que la mirada de los y las egresadas a la hora de optar por los diferentes posgrados sea tan rica y plural como lo son las matemáticas en sí.

Los grados de Matemáticas deberían tener una mirada más amplia, sin renunciar a formar personal graduado que trabaje en las áreas y temas clásicos de las matemáticas, para conseguir, a fin de cuentas, que la mirada de los y las egresadas a la hora de optar por los diferentes posgrados sea tan rica y plural como lo son las matemáticas en sí

La situación en los países de nuestro entorno, al respecto del tipo de másteres de matemáticas que podemos encontrar es muy similar. Si tomamos como referencia dos países con una tradición matemática importante como son Francia y Alemania, fundamentalmente encontramos de nuevo másteres de matemática pura, matemáticas y finanzas, matemáticas y computación, matemáticas y física y matemáticas y modelado, con algunas particularidades propias, sobre todo en aquellos másteres más dirigidos a la industria.

Sin embargo, la estructura no es asimilable al caso español, dado que ambos países en general han optado por una estructura 3+2 para sus estudios de grado y posgrado, es decir tres años de grado y dos de máster, con lo que las comparativas son siempre difíciles. Y es precisamente esta estructura diferente la que

marca ciertas dudas sobre la elección de España de un 4+1. Un grado de 3 años queda muy corto si lo que se pretende es obtener una formación generalista que dé acceso al mercado laboral sin necesidad de pasar por un máster. Sin embargo, un grado de 4 años resta capacidad al sistema para la especialización y en cierta medida lo tensiona con una rigidez un tanto innecesaria, dejando el máster demasiado corto. La discusión, sin caer en simplificaciones excesivas, tiene un marcado carácter económico, con unos créditos, los de máster, con un precio en general superior al de los países de nuestro entorno.

Una recomendación oportuna es que, siguiendo el ejemplo de otros países europeos, se impulsen un mayor número de cursos de másteres universitarios no generalistas, en aspectos muy específicos, aglutinando recursos de distintos grupos de investigación para proporcionar formación en torno a temas concretos. Un buen ejemplo puede ser la red holandesa LNMB (Dutch Network on the Mathematics of Operations Research, véase <http://www.lnmb.nl/>) o el programa Mastermath de ese mismo país (véase <https://elo.mastermath.nl/>), que centraliza la oferta de cursos *online* que pueden cursarse desde distintos programas de matemáticas de máster en el país.

Finalmente, debemos insistir en que un problema importante con el que cuenta nuestro sistema universitario en cuestión de másteres es el importe de las tasas académicas. El precio público de los másteres es muy superior al de los grados (en muchas comunidades autónomas, es más del doble) y está en franca desigualdad con los precios de países cercanos geográfica y académicamente, como Francia o Alemania. Por poner un ejemplo, pese a la diferencia idiomática, hay más alumnado hispanoamericano estudiando másteres en Francia que en España. Incluso dentro de nuestro sistema universitario un mismo máster cuesta sensiblemente más en una comunidad autónoma que en otra, ya que la horquilla de precios la pone la comunidad autónoma. Se da la paradoja de que en másteres interuniversitarios de universidades pertenecientes a diferentes comunidades el estudiantado no paga lo mismo por recibir las mismas enseñanzas. Es una cuestión que debe ser objeto de reflexión por parte de las autoridades políticas, ya que la situación actual no facilita la incorporación de más alumnado a esta etapa de formación. Se debería abrir de nuevo el debate sobre la estructura de los estudios universitarios, pero con un carácter global donde, además de los argumentos académicos y formativos, estén encima de la mesa los de financiación y precio de las matrículas, así como un auténtico programa de becas de tasas, manutención y movilidad. Ello no sólo beneficiaría al estudiantado, abriendo

sus posibilidades para cursar el máster que desean, sino que también permitiría una reordenación de la oferta de las universidades a nivel del país.

## **4. EL MÁSTER DE FORMACIÓN DEL PROFESORADO DE ESO Y BACHILLERATO EN MATEMÁTICAS**

### **4.1. Introducción**

Se han cumplido once años de la implantación del Máster Universitario para la Formación del Profesorado de ESO y Bachillerato (usaremos las siglas MUFP, en lo que sigue, por unificar en un acrónimo las distintas variaciones en denominación que encontramos en las universidades), en sustitución del extinto CAP (Certificado de Aptitud Pedagógica). La formación inicial del profesorado de Matemáticas en Secundaria ha estado viviendo estos últimos años una fase experimental, en la que cada universidad, con un amplio margen de maniobra, ha ido planteando los estudios, resolviendo los problemas y salvando los obstáculos de modo bastante local y con una fuerte influencia de la configuración facultativa y departamental que el MUFP haya tenido.

La RSME ha realizado durante estos años, en solitario o en colaboración con el CEMAT, varios encuentros y seminarios sobre el MUFP, el último en marzo de 2018. El documento elaborado tras este último seminario recoge una valoración global que reconoce el notable avance que el MUFP ha supuesto respecto al anterior CAP, tanto en cantidad como en calidad de la formación inicial recibida. Sin embargo, se apuntaron asimismo varias debilidades y amenazas sobre las que habría que actuar. A lo largo de 2017 y los primeros meses de 2018 existió la posibilidad de que las fuerzas políticas llegasen a un pacto educativo, dentro del cual se abordaría la formación inicial docente con la figura del llamado popularmente MIR educativo; no obstante, tanto la idea del MIR educativo como la propia vocación de pacto parecen haberse esfumado en los últimos meses. De hecho, no se ha llegado a discutir el acceso a ese MIR, que podría incluir una prueba, aunque sin especificar si se realizaría antes o después del periodo de formación práctica en centros de secundaria, y sin aclarar la relación que esa prueba, de existir, tendría con las oposiciones existentes para la carrera docente en la red pública. En nuestro entorno próximo hay modelos, como el establecido en Francia, que diseñan el acceso a la profesión docente mediante una combinación de examen de acceso, periodo de formación práctica remunerada y posterior acreditación para ejercer la docencia.

## 4.2. Las características específicas del MUFP de matemáticas

Una de las primeras observaciones que se hacen notar en el ámbito de la educación matemática radica en que el MUFP se diseñó, en cuanto a las distintas especialidades, como una aplicación del célebre “café para todos”, tratando igualmente la especialidad de matemáticas que el resto. En el caso concreto que nos ocupa, la didáctica de las matemáticas tiene unas especificidades y, sobre todo, una trayectoria como área de investigación consolidada nacional e internacionalmente que la hacían merecedora de un tratamiento diferente. No pretendiendo ser más que nadie, podemos constatar que en el caso de otras especialidades no existe, como en matemáticas, el corpus de conocimiento científico surgido de la investigación en educación específico, ni se da la necesidad de profundizar tanto en aspectos de contenido como en aspectos didácticos y pedagógicos específicos, que están asentados en la comunidad científica y que habrían sido merecedores de un tratamiento, sino diferenciado, al menos más generoso en cuanto al protagonismo de las matemáticas y su didáctica en un MUFP en el que se diluye esta especificidad, a menudo en el ámbito genérico de la educación. Este efecto se constata al comprobar cómo incluso en algunas universidades parte del módulo específico como es la materia de innovación se imparte de manera conjunta para matemáticas y otras especialidades, bajo un enfoque generalista, y, evidentemente, no impartida por especialistas en innovación matemática. La didáctica de la matemática fue la pionera de las didácticas específicas, y durante muchos años el único objeto de investigación, los resultados que describen qué matemáticas y de qué tipo tiene que saber el futuro profesorado de matemáticas, a través de modelos de conocimiento especializado, han constituido una línea esencial en la investigación en educación matemática en los últimos años y no pueden ser obviados cuando se diseña un plan formativo inicial para el profesorado.

El diseño del máster de profesorado para matemáticas se ha llevado a cabo sin tener en cuenta las especificidades y la tradición de investigación en didáctica de la matemática, igualándolo con otras especialidades en las que no existe este conocimiento

Una cuestión que ha sido señalada por la literatura (Rico, 2004; Font, 2013) es la desconexión entre la formación teórica y práctica en la formación inicial de profesorado de matemáticas. El MUFP no ha sido ajeno a esta disfunción y, a pesar de las diferencias ya comentadas entre universidades, en general ha costado encontrar el engranaje necesario para que las dos formaciones se complementen

y se retroalimenten. Una causa importante de este hiato se encuentra en que, mayoritariamente, el profesorado que imparte docencia teórica en el máster es diferente del que acoge y tutora al alumnado durante su etapa práctica en el centro. Es cierto que hay un porcentaje importante de profesorado de secundaria que está implicado activamente, a través de figuras como la de profesor asociado o profesora asociada, en la docencia teórica del MUFP, pero también es obvio que no siempre este personal docente se encarga al tiempo de ser tutor o tutora en el periodo de formación práctica. Es imprescindible que haya una fluidez continua de información y de programación entre el profesorado universitario y el profesorado de secundaria que tutoriza al alumnado del MUFP, para que el aprendizaje y la enseñanza de la matemática no se vean como algo parcializado, sino que se logre encajar programaciones formativas. Sobre este tema, intentando apuntar posibles vías de mejora, se volverá más adelante.

#### **4.3. El acceso y la admisión a la especialidad de matemáticas**

Uno de los problemas relativos al máster que más reflejo ha tenido en los medios de comunicación social y especializados es la cuestión del acceso. Este problema ha evolucionado notablemente en los años de implantación del MUFP. En los primeros años, el problema se planteó por el acceso en igualdad en (o prácticamente) las mismas condiciones para quienes tenían una titulación de Matemáticas frente a quienes tenían titulaciones que se equiparasen, bien mediante un listado que las hacía homogéneas o bien porque se pedía haber superado al menos 30 ECTS de formación relacionada con las matemáticas (cuestión esta que, con una interpretación laxa de la relación, abarcaba prácticamente a todas las carreras excepto las de Humanidades). Se ha observado que, especialmente en los últimos años, la inserción laboral de los graduados y graduadas en Matemáticas está siendo muy buena, ofreciendo buenos puestos de trabajo, adecuados a la formación y con unos salarios con los que difícilmente puede competir el mundo de la educación. Por ello, están siendo minoría las personas egresadas de matemáticas que se adentran en la aventura de superar un máster habilitante y concurrir a unas oposiciones o buscar empleo en el sector privado de la educación.

En los últimos años están siendo minoría los graduados y las graduadas en matemáticas que cursan el máster de profesorado, lo que implica que muchas de las plazas están siendo cubiertas por egresados y egresadas de otras titulaciones

En los últimos años, muchos requisitos de acceso han ido modificándose para dar prevalencia a los titulados y las tituladas en Matemáticas y reducir, así, el problema inicialmente descrito de la adecuación del perfil del futuro profesorado de Matemáticas. Sin embargo, la mencionada alta inserción laboral de las personas tituladas en Matemáticas en el ámbito empresarial está llevando a que, en la práctica, lo que ocurre es que las plazas del MUFP de la especialidad de matemáticas son cubiertas por especialistas en la materia en un porcentaje entre bajo y muy bajo. Así, las vacantes se cubren con egresados y egresadas de otros campos en los que la inserción laboral ha empeorado en los últimos años, además de otras personas tituladas que tradicionalmente se han acercado al mundo de la educación matemática o que prefieren concurrir por el área de matemáticas a unas oposiciones porque la especialidad que les resulta naturalmente más cercana cuenta con muy pocas plazas. Así, por ejemplo, han abundado los y las tituladas en Arquitectura, Edificación, Caminos o Topografía tras el problema vivido con la crisis de la construcción y la obra civil. También hay titulados y tituladas en Ingeniería Industrial o en Física. Lamentablemente, esta descripción la debemos hacer basándonos en datos muy parciales pues, de modo sorprendente, no existe una base de datos a nivel nacional donde se pueda comprobar de qué carrera procede el estudiantado matriculado en el MUFP de matemáticas en el conjunto de las universidades españolas, y la recolección de los datos pasa por consultar universidad a universidad, encontrándonos con que muchas de ellas no tienen registrado ese campo en sus bases de datos (Muñiz-Rodríguez, 2017). Consultando la información pública, nos encontramos con que hay universidades que incluso admiten en la especialidad de matemáticas del MUFP a personas tituladas en estudios muy poco relacionados con el tema como, por ejemplo, Podología. Evidentemente, no podemos constatar si esta admisión potencial se ha concretado en algún curso en la admisión de una titulada o un titulado en estos estudios, pero la mera posibilidad ofrece un panorama poco prometedor para la calidad de formación matemática del futuro profesorado.

Este heterogéneo perfil de admisión impacta directamente en la formación matemática de base del estudiantado de la especialidad de Matemáticas del MUFP. En muchos casos, como se señala en el apartado correspondiente a la educación matemática en grados distintos al de Matemáticas, se constata una reducción notable de la cantidad de asignaturas de matemáticas que se cursan y, también, del nivel de profundización matemática de las mismas. Por ejemplo, en las ingenierías que en los planes anteriores al grado tenían una carga matemática

notable, en la actualidad, la formación matemática se concentra casi en su totalidad en el primer curso y está reducida a asignaturas que solo se pueden plantear de manera casi instrumental, con escasa profundidad conceptual. Este desconocimiento de la matemática, no a nivel de contenidos o de uso de los mismos, sino de significado de los conceptos utilizados, dificulta enormemente que quienes han recibido una formación matemática de estas características puedan cambiar radicalmente su planteamiento cuando cursan el MUFP, ya que lo que se necesita del futuro profesorado de secundaria es precisamente la capacidad de mirar las matemáticas del currículo desde un punto de vista superior (si hablamos de contenidos) o más profundo (si hablamos de competencias).

#### 4.4. ¿Qué enseñar y cómo enseñarlo? Estructura de los MUFP

Otro problema que se ha constatado en algunas universidades es la reducción tanto del número de horas presenciales como del periodo de prácticas. La reducción de horas presenciales no debería ser muy problemática si la formación no presencial estuviese implantada de manera efectiva en las universidades presenciales. Pero la realidad es que esto no es mayoritariamente así, y tanto el profesorado como el alumnado se ve un poco perdido respecto a cómo utilizar las horas no presenciales de trabajo. Además, en los últimos años, se ha incrementado notablemente el número de universidades que imparten el MUFP *online*, matriculando a un número muy elevado de alumnos que no tienen la posibilidad de acceder a un prácticum con las debidas garantías.

La reducción del periodo de prácticas tiene un impacto negativo directo en la calidad de la formación de la persona titulada del MUFP en general, y en la especialidad de matemáticas, en particular, ya que es en ese periodo de trabajo con la tutora o el tutor del centro, viendo el día a día de una clase de Matemáticas, trabajando entre el que será el futuro alumnado, cuando de verdad se pueden poner en práctica los conocimientos teóricos tanto matemáticos como didácticos que se han ido adquiriendo.

Las situaciones señaladas anteriormente (perfil heterogéneo del alumnado, escasez de estudiantado procedente de matemáticas, reducción de las horas presenciales) inciden muy directamente en una cuestión fundamental: qué hacer y cómo hacerlo en las asignaturas de complementos de formación, de aprendizaje y enseñanza y de innovación educativa correspondientes al módulo específico de matemáticas. A este respecto, los inicios del MUFP generaron incertidumbres

y dispersión de enfoques. También la RSME, en colaboración con el CEMAT, planteó estas cuestiones en un seminario específico realizado en 2009. Posteriormente, se comenzaron a publicar los primeros manuales (Goñi, 2011a, 2011b, 2011c) y, recientemente, han salido a la luz otros (Rico y Moreno, 2016; Ortega, Berciano y Pecharromán, 2018; Arce Sánchez, Conejo Garrote y Muñoz Escolano, 2019), lo cual ayuda a que, dentro de la necesaria variedad de enfoques, haya o pueda haber cierta homogeneización en las asignaturas. Pero aún se plantean varias cuestiones como la de qué formación se puede proporcionar en la asignatura de complementos a estos perfiles de titulados y tituladas que han adquirido en su formación previa, una visión instrumental de las matemáticas, tendiendo a mecanizar procesos y a aplicarlos a problemas relacionados con su ámbito de trabajo, pero con poco espacio para planteamientos menos complicados en lo procedimental, aunque más profundos en lo conceptual. En una asignatura que oscila entre los 6 y los 8 créditos, con muchos no presenciales, no es posible salvar las lagunas formativas de ese perfil de alumnado.

Del mismo modo, la asignatura de aprendizaje y enseñanza de las matemáticas queda muy limitada en sus posibilidades. Incluso para los titulados y las tituladas en Matemáticas, suele ser su primera aproximación al ámbito didáctico, ya que, en España, pocas universidades incluyen en los planes de estudio de Matemáticas alguna asignatura relacionada con la enseñanza. Y para los no titulados en Matemáticas el salto es aún mayor, porque tienen que enfrentarse doblemente a una aproximación didáctica a la matemática, cuando su formación ha sido orientada con otros fines.

La escasa relevancia de las asignaturas relacionadas con la educación matemática en los estudios de matemáticas es resultado de las últimas reformas de los planes de estudio. Años atrás, las licenciaturas en Matemáticas llegaron a contar incluso con una especialidad orientada al ámbito de la Educación Secundaria, pero las sucesivas reformas de los planes de estudio y, especialmente, la introducción de los grados, redujeron la carga docente de las licenciaturas y, además, supusieron en general una merma importante en la optatividad. En consecuencia, actualmente solo 6 de las 26 titulaciones de grado en Matemáticas que se imparten en las universidades públicas españolas cuentan con una asignatura (y solo una en cada plan, generalmente optativa) relacionada con la educación matemática. Esta situación impide que el alumnado de Matemáticas tenga una primera aproximación didáctica a la disciplina y merma las posibilidades de que se desarrolle su autoconcepto como futuro profesor o

profesora de Matemáticas. Es decir, es más difícil que el alumnado se plantee como salida profesional un trabajo con el que su único contacto se reduce a los años en los que fue estudiante.

Actualmente solo hay 6 de las 26 titulaciones de grado en Matemáticas que cuenten con una asignatura relacionada con la educación matemática. Introducir más materias de este tipo permitiría aumentar el contacto con la profesión docente de los futuros y futuras egresadas y comenzar su formación docente antes de ingresar en el máster

Algunas sociedades científicas, como la SEIEM (Sociedad Española de Investigación en Educación Matemática: <http://www.seiem.es/>), han abogado por la introducción de un itinerario educativo (cuando hablamos de itinerario hablamos de intensificación o mención, en la terminología de los grados) en los grados de Matemáticas. Este itinerario tendría virtudes, sin duda, pero supone una importante modificación en el modelo por el que se ha apostado en España, y parece difícil que se pueda llevar a cabo únicamente para matemáticas. Porque la introducción de estos itinerarios educativos como paso previo al máster supondría cambiar el actual modelo consecutivo (en el cual se estudia primero la disciplina científica con un grado generalista y, después, se realiza un máster, donde se abordan los aspectos pedagógicos) por un modelo concurrente (en el que la formación en la didáctica específica comienza ya en el grado y se puede completar con un máster). En España, incluso el modelo del extinto CAP era consecutivo, como lo es el actual MUFP (Muñiz-Rodríguez et al., 2016), y resulta complicado pensar en buscar una solución que pase por implantar un modelo concurrente para todas las disciplinas (por falta de tradición, porque supondría vencer muchas inercias, y porque también tiene desventajas, señaladas por la literatura científica), pero más aún sería implantar ese modelo parcialmente solo para la especialidad de matemáticas. Por ello, una solución transaccional se podría conseguir con la introducción de asignaturas vinculadas a la educación matemática en todos los grados de Matemáticas. Esto permitiría, en primer lugar, paliar el problema descrito anteriormente sobre la falta de contacto con la profesión del estudiantado del Grado en Matemáticas y, en segundo lugar, sin modificar el modelo consecutivo, permitiría que el alumnado que siguiera este itinerario comenzara a formarse, descomprimiendo la formación didáctica que pueden recibir en un máster de un curso académico.

#### 4.5. La importancia del prácticum

Sin duda, más allá de las asignaturas y de la necesaria conexión con el periodo de prácticas, que ya se señaló anteriormente, esta etapa (el prácticum) es la piedra clave para comenzar a observar, escuchar y poner en funcionamiento lo aprendido durante la formación teórica. Para lograr que tenga la importancia que le corresponde, resulta imprescindible que las comunidades autónomas y las universidades compartan buenas prácticas en cuanto a la selección de centros educativos y de profesorado tutor dentro de estos. Algunas comunidades (como Asturias) ya lo hacen, se han creado redes de centros de referencia que tienen que concurrir y pasar con éxito un proceso de selección, aunque no es un procedimiento generalizado en el conjunto de España. Está todavía menos desarrollado el proceso de selección o certificación del profesorado tutor, bien vinculado a una previa selección de los centros o bien en concurrencia independiente. Entendemos que es necesario avanzar en este sentido, certificando no solo centros sino también profesorado, y diseñando procedimientos efectivos. Hay modelos exitosos en otros países que podrían servir como ejemplo, como el sistema francés de centros de especialización profesional o la figura de profesorado investigador en la escuela en Italia.

Directamente vinculado a los procesos de certificación, debe abordarse, sin más demora, la cuestión del reconocimiento. El papel del profesorado tutor debe ser reconocido oficialmente por las universidades y las comunidades autónomas. No se trata solo, que también, de que tenga algún tipo de remuneración, sino reconocimiento formal como personal colaborador de la universidad, mediante créditos formativos para el docente. Existe una disparidad de modelos, en función de las combinaciones de comunidades autónomas y universidades, que genera muchas situaciones diferentes incluso dentro de la misma comunidad, con profesorado que ejerce de tutor en los centros de secundaria. Actualmente hay casos en los que este profesorado está remunerado o se le reconocen créditos de formación (por ejemplo, en Asturias son ambas), pero la gran mayoría del profesorado no tiene ningún reconocimiento o se limita a cuestiones fuera del ámbito profesional (por ejemplo, nombramientos de colaborador o colaboradora de honor en la universidad, acceso a las instalaciones universitarias, etc.).

Por otro lado, el prácticum deber tener una duración que permita afrontar con garantías la formación del futuro profesorado. Ni puede limitarse a unas pocas semanas de observación, ni debe enfrentar al futuro personal docente a

impartir una clase de Matemáticas nada más llegar al centro. La secuenciación de las tareas dentro del proceso de formación del profesorado de Matemáticas es esencial y compete tanto al centro educativo que acoge al alumnado como a las universidades, lo que de nuevo nos lleva a subrayar la importancia de la figura de los tutores del prácticum (tanto el tutor universitario como el de secundaria).

#### **4.6. El papel del Trabajo de Fin de Máster (TFM)**

El prácticum debe ser, además, el punto de partida del Trabajo de Fin de Máster (TFM). Se ha constatado en uno de los seminarios sobre el MUFP, anteriormente citados, que existe una gran variedad de enfoques en los TFM actuales: desde programaciones didácticas con alguna propuesta de innovación a innovaciones efectivamente implementadas y evaluadas o investigación en educación matemática, a distintos niveles (desde una iniciación hasta investigaciones más consolidadas), pasando incluso por TFM puramente matemáticos, sin relación directa con la Educación Secundaria. ¿Qué debe ser un TFM de la especialidad de matemáticas del MUFP? Es una pregunta difícil a la que ha intentado dar respuesta recientemente Flores (2018), insistiendo en varios aspectos que podríamos resumir en la profundización en una idea matemática que aparezca en secundaria, partiendo de un problema o situación de aula que haya detectado u observado en el prácticum. Este análisis permite que el futuro profesorado tenga que enfrentarse a la literatura científica acerca del concepto, competencia o procedimiento que está tratando, y conocer los principales problemas de su enseñanza y aprendizaje. Dependiendo de la entidad del problema, a partir de esta búsqueda se puede plantear el diseño de una situación de aula, una experiencia innovadora o la réplica de alguna investigación existente. Todo ello sin perder de vista nunca que, por su naturaleza, el TFM tiene un carácter profesionalizante, no necesariamente investigador, aunque sí puede dotar al futuro profesorado de Matemáticas de unos cimientos que le ayuden a desarrollarse profesionalmente, sabiendo dónde y cómo buscar literatura científica que le permita dar sustento a sus innovaciones.

#### **4.7. Conclusiones**

Todo lo expuesto anteriormente ha de situarse en un contexto de formación del profesorado de Matemáticas que, en España, habitualmente se desconecta de la formación continua. Se discute mucho sobre la formación inicial y sobre las competencias del egresado o egresada del máster, pero es escasa la investiga-

ción sobre la planificación a corto y medio plazo de la carrera del profesorado de Matemáticas de secundaria. Es obvio que no va a conocer todo ni saberlo hacer cuando finalice el MUFP, pero ni siquiera cuando lleve un año o dos de ejercicio profesional, hay competencias profesionales que se desarrollan a lo largo del tiempo. Incluso estas (Rico, Gómez y Cañadas, 2014; Muñiz-Rodríguez et al, 2017) están sujetas a debate, ya que en España las competencias oficiales de las y los egresados están fijadas de modo general para todas las especialidades del MUFP, sin entrar en las especificidades de las matemáticas. Es preciso, por lo tanto, definir las competencias en educación matemática de un profesor o una profesora de Matemáticas y su desarrollo a lo largo del tiempo. Pero, además, es necesario que ese desarrollo se conecte a la formación continua que se vaya a recibir. En muchos casos se constata que la formación continua generalista está bien representada pero la específica no suele estarlo. Hay un desequilibrio en el tipo y la intensidad de los cursos de actualización científica y de educación matemática que recibe el profesorado de Matemáticas, frente a la oferta disponible en formación educativa generalista. Las universidades deben involucrarse más en esta formación, haciendo llegar al personal docente en activo los resultados de investigación educativa que producen. Debe avanzarse en la implantación de formación más especializada como, por ejemplo, la experiencia de la especialización de los CEFIRE de la Comunidad Valenciana.

Es preciso definir las competencias en educación matemática del profesorado de Matemáticas, y cómo deben evolucionar a largo del tiempo, conectando este desarrollo con una formación continua especializada

Por último, debemos señalar que las sugerencias de mejora que se proponen para el MUFP perderán gran parte de su sentido si no se establece una mayor vinculación entre la formación recibida en el máster y las opciones laborales. Es decir, actualmente, cualquier persona titulada del MUFP, independientemente de la especialidad cursada, puede presentarse a las oposiciones de secundaria de la especialidad de Matemáticas. Una primera alternativa sería vincular la especialidad de la oposición con la del MUFP. Daría sentido así a que el máster se configure en especialidades y a que se esté invirtiendo una gran cantidad de recursos en esta formación específica. Si esta propuesta se considerase muy limitante (hay que tener en cuenta que estamos hablando de empleo público y tiene determinadas restricciones y procedimientos que exceden el ámbito de las matemáticas), cabe la posibilidad de admitir que cualquier titulado o titulada queda capacitada por el hecho de aprobar la oposición de matemáticas, pero se puede limitar (y, de

hecho, se ha realizado ya en alguna comunidad autónoma) su acceso a las listas de interinidad.

La especialidad de matemáticas en el máster debe ser la única que habilite para ejercer la profesión docente en Matemáticas, tanto en la educación pública como en la privada o la concertada

Paralelamente, consideramos que debe abrirse un debate sobre el contenido del temario y el formato de las oposiciones de secundaria de Matemáticas. El temario debe actualizarse y adaptarse a la estructura del sistema educativo: algunos temas están obsoletos y otros no están actualizados, por ejemplo, las TIC están prácticamente desaparecidas, y brillan por su ausencia los temas relacionados con la didáctica de la matemática. Por otro lado, no es posible determinar qué persona es apta para la profesión docente si el formato se limita a una oposición tradicional basada en la reproducción de contenidos y realización de ejercicios tipo. El profesorado de Matemáticas de secundaria debe ser capaz de conocer y comunicar la disciplina de modo que el aprendizaje de su alumnado sea efectivo. Por ello, es necesario que en la oposición se evalúen estas competencias, por ejemplo, mediante la resolución de problemas directamente relacionados con el currículo de secundaria y la demostración práctica de los recursos didácticos que deben ponerse en funcionamiento en el aula.

Mención aparte merece la educación concertada y privada, donde la regulación ministerial respecto a las especialidades es tan laxa que prácticamente cualquier titulado o titulada universitaria que no lo sea en Humanidades y que haya realizado el MUFP en cualquier especialidad estaría habilitado para impartir Matemáticas. Esta situación se comenta por sí misma, y dada la importancia cuantitativa de la red privada y concertada en España, es imprescindible que se replantee esta habilitación.

## 5. LAS PRUEBAS DE ACCESO A LA UNIVERSIDAD

### 5.1. Características de las pruebas EBAU en España e interrogantes que plantean

#### 5.1.1. *La relación de las pruebas y el currículo*

Las pruebas de titulación del Bachillerato o de acceso a la universidad basadas en currículo no son una originalidad de España, sino una forma de eva-

luación de un ciclo educativo muy frecuente en otros países, con diferencias en cuanto al periodo que abarcan, al tipo y duración de prueba y a las consecuencias académicas que puedan tener. No obstante, todas estas pruebas se apoyan en una evaluación basada en los contenidos del currículo, más que en una evaluación basada en las competencias, como es el caso, por ejemplo, del marco de las pruebas PISA.

Esta sujeción al currículo genera ventajas e inconvenientes, como ha sido señalado en la literatura internacional. Entre los autores que señalan las ventajas, Bishop (1997) muestra cómo este tipo de exámenes mejora los rendimientos del alumnado en las evaluaciones internacionales y Ou (2010) prueba que estudiantes que aprueban ajustadamente los exámenes de matemáticas en las pruebas de acceso son los que más posibilidades tienen de abandonar los estudios universitarios. Por lo tanto, aunque este apartado esté dedicado al acceso, será imposible desligar la discusión del debate sobre el currículo español de matemáticas en Bachillerato.

Dentro de los inconvenientes, Apple (1986) y Runté (1998) señalan que las evaluaciones basadas en un currículo fijado externamente generan una desprofesionalización de la tarea del profesorado, limitando su capacidad de tomar decisiones curriculares y dificultando una enseñanza centrada en el alumnado. Por su lado, Smith (1991) describe seis efectos de este tipo de examen, que resultan muy pertinente recordar: (1) sentimientos de vergüenza o miedo en el profesorado ante la publicación de las notas, (2) sentimientos de alienación en el profesorado ante la presión social por mejorar las puntuaciones en las pruebas, pese a contradecirse con sus ideas sobre la evaluación, (3) sentimientos de ansiedad en el profesorado, ante el impacto emocional y las consecuencias académicas de las pruebas sobre su alumnado, (4) reducción del tiempo dedicado a la instrucción frente al tiempo dedicado a preparar las pruebas, (5) limitación del currículo, para centrarse en aquello que aparece con frecuencia en las pruebas, generando reacciones de acomodación o de resistencia entre el profesorado y (6) adaptación de las metodologías docentes al tipo de ejercicio que se plantea en la prueba.

### *5.1.2. Trabajos empíricos sobre pruebas similares*

El tipo de contenido matemático que fue objeto de evaluación en las pruebas de acceso universitarias en España, en sus distintas denominaciones (selectividad, PAU, EBAU/EvAU) han sido objeto de estudio por varios autores, aunque

no es muy abundante la literatura al respecto, teniendo en cuenta la relevancia y el impacto académico de las pruebas. Sí ha sido más abundante la literatura respecto al impacto global de las pruebas, su capacidad de predicción del rendimiento en la universidad o los factores que influyen en los resultados del alumnado. En el ámbito concreto de las matemáticas, los trabajos son muy variados y de distinto nivel de análisis. Hay estudios de los años 80 (Pastor, 1984; Goberna, López y Pastor, 1985) sobre el tipo de pruebas y su influencia en el quehacer del aula y el modo en que el profesorado modifica su práctica docente. Trabajos más recientes se centran en aspectos concretos sobre la presentación de determinados contenidos, como la integral definida (Contreras de la Fuente, Ordóñez Cañada y Wilhemli, 2010) o la estadística y la probabilidad (López-Martín et al., 2015; López-Martín et al., 2016). También encontramos estudios que relacionan las pruebas de acceso con el currículo de Bachillerato (Zamora Pérez, 2014) y de la universidad (Huidobro Rojo, Méndez García y Serrano Ortega, 2010), los libros de texto (Ruiz de Gauna et al., 2013), las prácticas del profesorado (Rodríguez-Muñiz et al., 2016) o la influencia de los correctores (Nortes Martínez-Artero, Nortes Checa y Lozano Pato, 2015; Arnal-Bailera, Muñoz-Escolano y Oller-Marcén, 2016; Mengual et al., 2019).

### *5.1.3. Resultados de las investigaciones empíricas*

A pesar de la diversidad de enfoques y objetos de estudio, un análisis genérico de los trabajos referidos ofrece algunas conclusiones comunes a muchos de ellos y, además, poco variables a pesar de las modificaciones que las distintas leyes educativas han realizado en la prueba. En primer lugar, se evidencia una influencia determinante de las pruebas sobre la formación matemática que adquiere el alumnado, lo que sesga de manera notable el planteamiento curricular del profesorado, generando así diferencias entre comunidades autónomas. En segundo lugar, a pesar de que se constata la complejidad conceptual y procedimental de algunos de los ejercicios, se subraya una estructura fuertemente repetitiva, lo cual tiene el efecto beneficioso de ayudar a organizar la docencia, pero el efecto perjudicial de transformar la instrucción en un proceso de preparación para el examen. Los ejercicios son, en general, predecibles en estructura, centrándose en la reproducción (entendida dentro del marco de competencia matemática de PISA) y prácticamente nunca abordan cuestiones de conexión o reflexión: no se encuentran problemas abiertos, muy pocos son contextualizados y no requieren un uso avanzado del lenguaje matemático ni de la argumentación; son muy pocas las excepciones en las

que los estudiantes tienen que abordar la construcción de un modelo matemático para resolver el ejercicio o realizar una reflexión sobre la validez de la solución en el contexto del modelo. Finalmente, la influencia sobre la práctica docente queda también constatada, en el sentido descrito en otros países de la adaptación a la consecución de buenos resultados, sacrificando conscientemente otro tipo de instrucción más centrada en la competencia matemática.

Existe evidencia empírica sobre la influencia determinante que las pruebas de acceso ejercen sobre la formación matemática en Bachillerato, sobre la alta predictibilidad y el carácter meramente algorítmico del tipo de ejercicios que se plantean y sobre la influencia de las pruebas en la práctica docente, limitando la libertad del profesorado

#### 5.1.4. *¿Cómo se crean las pruebas?*

De acuerdo con el Real Decreto-ley 5/2016, de 9 de diciembre, de medidas urgentes para la ampliación del calendario de implantación de la Ley Orgánica 8/2013, de 9 de diciembre, para la mejora de la calidad educativa, las comunidades autónomas, en colaboración con las universidades, constituyen comisiones organizadoras de las pruebas que delegan la elaboración de los exámenes en ponencias donde deberían participar personal docente y experto, tanto de la universidad como de la Educación Secundaria. Esta situación refleja ciertas variaciones de unas comunidades a otras, puesto que en algunos casos sigue siendo la universidad la que lleva un mayor peso (por tradición, por haber solo una universidad en la comunidad autónoma, etc.), mientras que en otros casos se trabaja de manera más colegiada.

La estructura y los contenidos del examen quedan, pues, al criterio de estas ponencias o comisiones de materia, que deben seguir unas normas generales para todas las materias (que afectan, sobre todo, a la duración máxima de una hora y media), y unas matrices específicas por materia que recogen los estándares de aprendizaje evaluables asociados a las pruebas y el peso que cada bloque curricular de la materia debería tener en la nota final. Sobre estas matrices volveremos más adelante, baste ahora señalar que la actuación de las personas encargadas de la elaboración de las pruebas debería, en la medida de lo posible, moverse dentro del marco delimitado por estas matrices.

Otro elemento importante, que forma parte de lo que podríamos llamar estructura oculta de las pruebas (ya que no figura como tal en la norma, pero se da

por supuesto), son las reuniones de toma de contacto y coordinación que, con diferente periodicidad, el personal responsable de elaborar las pruebas mantiene con el profesorado de los centros de Bachillerato. En estas reuniones se palpa el sentir del profesorado de Bachillerato y se expone la estructura fijada para el examen, junto con las posibles novedades o variaciones que se hayan incluido para el curso: número de preguntas, tipo de ejercicios, combinaciones de bloques curriculares. En muchos casos, se puede constatar con facilidad que los acuerdos tomados o surgidos de estas reuniones de coordinación condicionan la prueba tanto o más que las propias matrices fijadas por el ministerio. En general en estos acuerdos, que en su mayoría están publicados en las páginas web de universidades o comisiones autonómicas de acceso a la universidad, se comprueba cómo establecen concreciones respecto, por ejemplo, a las dimensiones máximas de las matrices involucradas en los problemas de álgebra, el trabajo con la geometría tridimensional, el número de veces que se puede aplicar un método como el de integración por partes, el tipo de funciones que pueden aparecer en el cálculo integral, el tipo de variables aleatorias que pueden ser utilizadas en estadística o el tipo y número de ejercicios que pueden combinarse.

*5.1.5. Conflicto: la interacción pruebas-profesorado genera un círculo vicioso que, en la práctica, hace muy difíciles modificar las pruebas. Interrogantes que se plantean*

Brevemente, señalamos a continuación cuáles son las principales características en cuanto a la configuración de las pruebas y su elaboración y propuesta, ya que tiene también influencia en el porqué de la situación.

Aunque hemos señalado que en el caso de matemáticas (para las dos asignaturas de 2º de Bachillerato) es escasa la investigación sobre cómo ve esta prueba el profesorado de Bachillerato y cómo se enfrenta a ella. Los pocos datos contrastados mediante la evidencia empírica y el análisis de los acuerdos de las comisiones de materia, así como la opinión reflejada informalmente en las reuniones (como las que al respecto ha realizado, por ejemplo, el CEMAT), parecen converger respecto a dos problemas íntimamente ligados. Por un lado, y como ya se ha comentado, se percibe que las pruebas de matemáticas se ciñen, en general, a ejercicios muy mecanizados, con poco espacio para la argumentación matemática, la construcción de modelos, la contextualización de soluciones o la interpretación de las mismas. Esta limitación no supone que los ejercicios no sean pertinentes o que no utilicen objetos matemáticos del nivel adecuado a 2º de Bachillerato,

pero no se trata tanto de la complejidad conceptual del objeto como del escaso nivel de profundización requerido para manejarlo. Por otro, hay un sentimiento de rechazo a posibles cambios en el esquema de prueba; el profesorado se siente juzgado a través de las calificaciones obtenidas por su alumnado, una mínima variación de milésimas en las notas medias puede suponer que una o un estudiante no sea admitido en los estudios que desea. Por su parte, las universidades tampoco necesitan realizar una selección, sino más bien una ordenación, ya que la demanda no suele cubrir el conjunto de las plazas ofertadas, hay estudios de grado con una alta demanda, pero otros con baja. La combinación de estos dos factores contribuye a que se instale la sensación de que no se pueden hacer las pruebas de otro modo o, alternativamente, de que hacerlas de otro modo empeoraría la situación.

Por lo tanto, ante esta situación problemática, cabe plantearse varias preguntas: ¿tiene vigencia el actual modelo de prueba de matemáticas? ¿Se debe diseñar otro tipo de prueba de mayor profundización matemática? En caso afirmativo, ¿cómo la recibiría la comunidad educativa?

## **5.2. Posibles respuestas a los interrogantes y propuesta de mejora**

### *5.2.1. Comparativa con otros países de referencia*

Para dar respuesta a estos interrogantes, podemos utilizar como punto de partida el ejemplo de otros países de nuestro entorno. Lo primero que vemos al comparar nuestros exámenes con los de, por ejemplo, Italia o Francia, es que en estos países el tiempo dedicado al examen es notablemente mayor. Este hecho permite una profundización notablemente mayor en los ejercicios que se plantean, frente a la necesaria comprensión de contenidos del esquema español, en el cual se necesita hacer un barrido de un currículo muy extenso en solo una hora y media. También en Portugal la duración de la prueba es mayor (150 minutos frente a los 90 españoles) y se combinan ejercicios y problemas de respuesta abierta con cuestiones de múltiple elección de respuesta. Cabe señalar que, además, en Portugal muchas universidades realizan pruebas específicas de admisión sobre matemáticas, que añaden puntuación de cara a la admisión a determinados grados. Es cierto que en muchos de estos países la Educación Secundaria es mucho menos inclusiva que en España y existen itinerarios segregados para orientar al alumnado hacia la formación profesional o la educación superior no universitaria, de manera que las matemáticas que se plasman en estas pruebas

de titulación o pruebas de acceso son el reflejo de lo que se produce en el aula. No entraremos en el debate de si es mejor o peor para el sistema que la escuela segregue al alumnado por rendimiento y lo encauce, como en Alemania o los Países Bajos, a diferentes itinerarios con currículos notablemente distintos, pero es necesario tenerlo en cuenta en favor de una comparación rigurosa.

### *5.2.2. Cambiando el currículo se podrían cambiar las pruebas*

El currículo de todo el Bachillerato español, especialmente en la modalidad de Ciencias y particularmente el de Matemáticas de 2º curso, es uno de los más densos de los países de nuestro entorno

Esta discusión nos lleva, inexorablemente, al currículo como elemento basal de las pruebas. El currículo de todo el Bachillerato español, especialmente en la modalidad de Ciencias, y particularmente el de 2º curso, que es el que fundamenta la EBAU/EvAU, es uno de los más densos de los países de nuestro entorno. Y cuando hablamos de densidad no lo hacemos en términos de profundidad matemática sino respecto a la cantidad y variedad de conceptos que abarca el currículo, y el tiempo que se le dedica en el Bachillerato. Este hecho es el que, inexorablemente, señala el profesorado de Matemáticas de secundaria cuando se aborda la cuestión de la EBAU/EvAU. Pueden surgir, por supuesto, otras características, pero la densidad del currículo siempre aparece como causa de que en la práctica docente se aborden algunos contenidos matemáticos de manera superficial. Y, en consecuencia, el profesorado es consciente de que una mayor profundización matemática en las pruebas causaría una reducción notable de las calificaciones, puesto que son conscientes de que apenas pueden profundizar en los conceptos ni trabajar la argumentación o el modelado. Esta sujeción curricular actúa, por lo tanto, como una traba que limita (y casi impide) los cambios en la prueba.

Este hecho se ha constatado con el nuevo modelo de prueba introducido con la aplicación de la LOMCE. El Ministerio propuso elaborar unas matrices de especificación en las cuales se determinaba el peso que cada bloque curricular debía tener en la puntuación de la prueba. Sobrepasando la tradicional división en cuatro bloques (Álgebra, Cálculo, Geometría y Estadística y Probabilidad) para Matemáticas (Bachillerato de Ciencias) y en tres (Álgebra, Cálculo y Estadística y Probabilidad) para Matemáticas Aplicadas a las Ciencias Sociales, el Ministerio fijó que el bloque transversal de Procesos, métodos y actitudes en matemáti-

cas debía tener un peso mínimo en los estándares evaluables de la prueba. Para la determinación de estas matrices se crearon grupos de trabajo en los que participaron miembros de RSME y de FESPM, junto con expertos del INEE y del Ministerio. El resultado final incluyó el bloque transversal con un peso del 20 % en la calificación de la prueba. Teóricamente esto significaba que debían valorarse de manera explícita, y separadamente del contenido, aspectos como desarrollar un modelo, interpretar una solución en un contexto, utilizar el lenguaje matemático apropiado, argumentar, justificar y explicar matemáticamente, conectar las matemáticas y los problemas reales o tomar decisiones. Estas especificaciones, con un peso relevante pero no determinante, podrían haber sido, a nuestro juicio, un primer paso hacia la búsqueda de esa profundización matemática en las pruebas. Sin embargo, la comprobación de cómo esos estándares y pesos han sido plasmados en los exámenes propuestos en cada comunidad autónoma, conduce a pensar que han sido muy pocos los casos en los que esta evaluación está realmente presente, limitándose en la gran mayoría a indicar que el estándar del bloque 1 se satisface mediante un cálculo reproductivo similar a los que tradicionalmente venían estando presentes en los ejercicios anteriores. En cierta medida, ha sido una oportunidad perdida, porque habría servido para iniciar el proceso hacia una mayor profundización en los ejercicios, pero sin suponer una ruptura radical con el modelo anterior.

La perspectiva reciente, los actores involucrados y la estructura orgánica no parecen ofrecer un panorama muy alentador. Sin embargo, creemos que es posible avanzar en la línea indicada de hacer que en las pruebas se vean reflejados los distintos niveles de competencia matemática y no solo el de reproducción, sino también el de conexión y el de reflexión. El bloque 1 del currículo establece, en este sentido, una vía para encontrar el equilibrio entre la evaluación de contenidos y de competencias. A este respecto, entendemos que se debe promover la elaboración de pruebas piloto donde los procesos tengan relevancia para que el profesorado vaya conociendo el significado del bloque 1 curricular, que le ha sido impuesto. De esta manera, es factible que el personal docente de ambas etapas educativas (secundaria y universidad) experimente que es posible evaluar de otra manera sin que esto suponga ni una catástrofe en los resultados de la evaluación ni una merma importante en la competencia matemática del alumnado de nuevo ingreso en la universidad. Más al contrario, avanzar en diferentes niveles de competencia matemática supondría que quizá sobre el papel las y los nuevos universitarios no hayan estudiado todas las matemáticas de una lista intermina-

ble, pero conocerán con mayor profundidad aquellas que hayan estudiado. En este sentido, se propone potenciar desde las instituciones la formación del profesorado en cuanto a qué es la competencia matemática, qué significa el bloque 1 del currículo y cómo se evalúan destrezas procesuales como la modelización o el razonamiento matemático.

En cualquier caso, y como ya se ha señalado, entendemos que para ello es requisito despegarse de un currículo, como el actual, formado por la acumulación de contenidos con el paso de los años y las reformas educativas, siempre sin suprimir ninguno sino añadiendo más: véase el caso de la estadística y probabilidad en 2º de Bachillerato en la última reforma, añadida sin haber reducido ni uno solo de los bloques restantes, ya de por sí cargados. Debemos asumir que no por estudiar más contenidos se va a aprender más matemáticas. Debemos ser valientes a la hora de plantear que necesitamos que nuestro alumnado sepa matemáticas, no que haya oído hablar de muchos contenidos matemáticos. A este respecto, entendemos que es primordial mantener un debate abierto entre los agentes educativos sobre qué contenidos son prioritarios para el desarrollo de una formación matemática de los ciudadanos del mañana. Por último, sería conveniente armonizar los criterios a nivel estatal ya que, aunque hay diferencias entre los diseños curriculares de las comunidades autónomas, los efectos de las pruebas son válidos en todo el territorio nacional, lo cual puede generar desigualdades entre el alumnado de cara a sus opciones de admisión en los estudios universitarios.

Debemos asumir que no por estudiar más contenidos se va a aprender más matemáticas. Hemos de ser valientes a la hora de plantear que necesitamos que nuestro alumnado sepa matemáticas, no que haya oído hablar de muchos contenidos matemáticos

## 6. LA EDUCACIÓN MATEMÁTICA EN LA ENSEÑANZA UNIVERSITARIA NO REGLADA

Existen distintas entidades que organizan actividades destinadas a un público diverso (jóvenes en etapas preuniversitarias, estudiantes de grados no vinculados con las ciencias o la ingeniería, adultos, mayores, familias, etc.) que tienen a las matemáticas como eje central. La mayoría de estas actividades se implementan desde los vicerrectorados de extensión universitaria de las universidades públicas, siendo, sin embargo, cada vez más frecuente que estas involucren además

como actores fundamentales a ayuntamientos, comunidades autónomas o incluso entidades privadas (por ejemplo, fundaciones vinculadas a bancos o cajas de ahorros). Destacamos, como ejemplos más relevantes, las siguientes actividades organizadas:

- **Universidad de Mayores.** Casi la totalidad de las universidades públicas españolas (y muchas de las privadas) desarrollan programas específicos de formación para personas mayores (con diferentes edades de corte, según los casos, pero en general sobre 50 o más años). Según la Asociación Estatal de Programas Universitarios para Personas Mayores (AEPUM), se estima que esos programas involucran a más de 50.000 estudiantes (datos del curso 2017/2018). En dichos programas casi siempre existen cursos específicos de matemáticas, que se enmarcan esencialmente en las siguientes tipologías:
  - Revisión de conocimientos básicos (del nivel de secundaria/bachillerato), enfocados a alumnado con escasa formación que ven mejorada su autonomía y capacidades gracias, por ejemplo, a los conocimientos adquiridos en cálculo y estadística elementales. Estos cursos centran la gran mayoría de la oferta.
  - Matemáticas recreativas, esencialmente destinados a ejercitar las capacidades cognitivas del alumnado y relacionadas con los paradigmas de envejecimiento activo y estimulación cognitiva.
  - Matemáticas en escenarios concretos de aplicación: economía, electrónica, cosmología, criptografía, geografía, etc.
  - Matemáticas en conexión con otras disciplinas: artes, cine, literatura, etc.
- **Semana de la Ciencia/Noche de los Investigadores.** Este tipo de actividades, impulsadas en gran medida desde las Consejerías de Educación de las CC.AA, persiguen despertar vocaciones científicas e involucrar de modo genérico a la ciudadanía en la actividad científica desarrollada en su entorno. Las actividades relacionadas con las matemáticas suelen enfocarse hacia la divulgación, y destacan por presentar de manera dinámica y amena distintos aspectos de la matemática actual y su relación con otras ciencias y artes. Se imparten conferencias, pero la oferta es muy amplia y diversa incluyendo yincana, talleres, o incluso formatos más innovadores como *scape rooms* o *performances* (véase el capítulo sobre divulgación matemática en este Libro Blanco).

- **Promoción de disciplinas STEAM.** Dada la creciente necesidad de profesionales dentro de las llamadas disciplinas STEAM (ciencia, tecnología, ingeniería, artes y matemáticas), son numerosas las acciones de formación y captación de vocaciones en este ámbito (dirigidas en su mayoría a estudiantes de secundaria y bachillerato). Existen numerosos programas de mentoría (por ejemplo, el programa Mat-es-ella/Math-is-She, puesto en marcha por la RSME y EJE&CON, Asociación Española de Ejecutiv@s y Consejer@s), así como acciones directas de formación en esta dirección (como, por ejemplo, el programa TechInstitute, promovido por Samsung España).

El impacto de las actividades mencionadas se traduce en una mejora de la percepción social de la disciplina y genera una serie de consecuencias positivas para la educación matemática. En concreto, se consigue:

- Reforzar la imagen de las matemáticas como ciencia útil, omnipresente y amigable.
- Reducir los estereotipos negativos asociados al profesional de las matemáticas (escasa empatía, poca capacidad comunicativa, nulo interés por las aplicaciones...).
- Despertar el interés del público general por las investigaciones matemáticas y su impacto en nuestra sociedad.
- Sensibilización acerca de la importancia de la investigación en matemáticas (y demanda social de que esta sea financiada con medios públicos).
- Percepción de la relevancia de las matemáticas más allá del sector docente o académico.
- Apoyo decidido a las vocaciones tempranas matemáticas desde el entorno familiar.

Es por tanto imprescindible apoyar y promover este tipo de iniciativas desde las instituciones, reforzando la actual actividad (muchas veces, escasamente apoyada o reconocida) de las universidades públicas e involucrando cada vez en mayor medida al sector privado.

## 7. CONCLUSIONES

Las titulaciones de grado en Matemáticas y en Estadística cuentan con una importante implantación a nivel territorial y están presentes en la mayoría de las

comunidades autónomas. La oferta de plazas se encuentra en proceso de crecimiento, especialmente por la introducción de titulaciones de doble grado y de grados relacionados con la ciencia de datos, que están actualmente en un momento de expansión. La demanda ha experimentado un vuelco en los últimos años, pasando de cursos en los que, a nivel nacional, no se cubrían las plazas ofrecidas a una situación presente en la que el crecimiento de las notas de corte evidencia que la oferta no satisface la demanda de estudiantes que quieren cursar grados relacionados con matemáticas. La distribución de la matrícula muestra un notable sesgo de género, con unos porcentajes de mujeres matriculadas que han disminuido en los últimos años, lo cual refuerza la importancia de incidir en la búsqueda de vocaciones femeninas para estos estudios, tal y como se ha desarrollado en los últimos años, pero también de evaluar las acciones que actualmente se llevan a cabo, en términos de eficiencia.

El estudio de los indicadores de calidad muestra que es necesario prestar atención al fenómeno del abandono, que no parece conciliarse con la selección realizada en los últimos años a través de la nota de corte en la admisión a los estudios. Es preciso realizar un estudio específico de las causas que motivan este abandono, especialmente para comprobar si hay un desajuste entre la expectativa del nuevo alumnado y lo que realmente se encuentra en los grados. Además, es necesario analizar por qué la movilidad del estudiantado es tan baja, siendo las matemáticas una disciplina con características muy globales que permitirían, a priori, su estudio en otro país sin grandes dificultades de contexto.

Los dobles grados de matemáticas con otras disciplinas muestran un panorama complejo. Por un lado, están contribuyendo a atraer estudiantes con altas calificaciones a los grados (tanto a los dobles como, por efecto llamada, a los sencillos) y parecen tener una buena acogida en el mundo laboral. Por otro lado, surgen dudas respecto a la dificultad de cursar dos grados simultáneamente y sus posibles efectos negativos en los expedientes del alumnado y en su acceso a futuros programas de investigación.

En cuanto a la educación matemática en estudios distintos a los de matemáticas, en el trabajo se constata, ilustrándolo detalladamente con el caso de los grados de economía, empresa y de ingeniería, que la adaptación al espacio europeo ha culminado un proceso, iniciado anteriormente, de reducción de la formación matemática, en cuanto a cantidad y a calidad.

Particularmente, en los grados de economía y empresa se constata una enorme heterogeneidad en los perfiles de acceso que lleva a que incluso ingresen estudiantes que no han cursado asignaturas de matemáticas en su bachillerato. Este hecho genera graves problemas en sus posibilidades de éxito en los estudios, lo que sugiere, entre otras actuaciones, reforzar la formación matemática en estos grados para adaptarla a la realidad de los perfiles de ingreso e incidir especialmente en la orientación preuniversitaria para una adecuada elección de materias en Bachillerato.

En el caso de las ingenierías y arquitecturas, la reducción de los créditos en matemáticas, unida a su concentración en los primeros cursos, ha provocado que la tradicional buena formación matemática de los titulados y las tituladas se haya pasado a profesionales que, mayoritariamente, adquieren una concepción algorítmica de la matemática, reduciéndola a un carácter instrumental. Se propone un aumento de la formación matemática, pero, sobre todo, una mejora de la misma, haciendo más hincapié en los procesos matemáticos como la modelización, la resolución de problemas o el razonamiento y la prueba. Se debe adaptar la instrucción matemática que reciben los ingenieros y las ingenieras a los procesos matemáticos que actualmente se demandan, que ya no pasan por los grandes desarrollos procedimentales.

Resulta difícil analizar globalmente los estudios de máster de matemáticas, dada la enorme dispersión y la alta variabilidad en la oferta de las universidades españolas. Una de las vías que se proponen para intentar paliar esta dispersión es incrementar la colaboración entre grupos de investigación de la misma área; dispersos geográficamente, difícilmente alcanzan una masa crítica de alumnado para poder mantener un máster, pero aunando esfuerzos se pueden lograr ofertas formativas que garanticen el reemplazo generacional en la investigación matemática. De todos modos, es preciso mejorar la organización colegiada de estos másteres, dado que algunos que ya se imparten han evidenciado disfunciones organizativas derivadas de las distintas normativas de cada universidad (por ejemplo, con tasas académicas diferentes para cursar el mismo máster).

También se señala la necesidad de que los grados en Matemáticas amplíen su visión para dar cabida a nuevas áreas de aplicación de las matemáticas en disciplinas donde son cruciales. Los graduados y las graduadas en Matemáticas no se sienten especialmente orientados hacia másteres multidisciplinares, como sí ocurre en países de nuestro ámbito.

Por otro lado, se ha analizado particularmente el caso del Máster de Formación del Profesorado. Se concluye que se necesita una definición, específica para el caso de la matemática, de las competencias de un profesor o una profesora cuando completa el máster y también diseñar un itinerario que indique qué competencias debe adquirir, al menos, en los primeros años de su ejercicio profesional. Este marco competencial serviría para organizar una formación continua específica de matemáticas y de didáctica de la matemática, que complemente el desarrollo profesional del profesorado al comienzo de su carrera con un apoyo permanente. Esta formación no debe dejar al margen el conocimiento que se genera en la universidad, especialmente en el ámbito de la didáctica específica.

Resulta especialmente preocupante la disminución del porcentaje de egresados y egresadas en Matemáticas en la especialidad de matemáticas del máster. Las facultades de Matemáticas no están titulando suficientes personas para cubrir la demanda del sistema educativo. Esto provoca que personas procedentes de grados diferentes ingresen en la especialidad (es llamativa la llegada de titulados y tituladas en Ingenierías y Arquitectura en los últimos años por la crisis de la construcción), generando frecuentemente desajustes por el tipo de formación matemática, muy instrumental, que han recibido.

La especialidad que se cursa en el máster debe estar vinculada a la especialidad docente a la que se accede: desvirtúa completamente la formación que se pueda cursar, por ejemplo, la especialidad de tecnología del máster, pero se pueda acceder a la especialidad docente de matemáticas. Más grave es el problema en las redes educativas privada y concertada, donde los titulados y las tituladas de ciencias, ingenierías y ciencias de la salud, y gran parte de los y las de ciencias sociales pueden impartir clase de matemáticas sin ninguna restricción adicional sobre su formación previa.

Los exámenes de matemáticas en las pruebas de acceso a la universidad en España resisten mal la comparación con las de otros países de la UE. Nuestro país es excepcional por la pretensión de evaluar del currículo de un año en una hora y media, siendo mayor (en ocasiones, mucho mayor, como en Francia) la duración de otros países. Esta primera limitación temporal impide que se puedan plantear problemas abiertos, que requerirían poder pensar sin la presión de agotar el tiempo disponible. A esta limitación se le suma la desmedida densidad de contenidos del currículo de 2º de Bachillerato. Esta carga tan enorme hace que tanto el profesorado que imparte las asignaturas como el que elabora las

pruebas de acceso se centre en los procesos algorítmicos para poder cubrir todo el currículo de contenidos.

Dicho de otra forma, los contenidos impiden que se desarrollen procesos matemáticos como la resolución de problemas, el razonamiento y la argumentación, la interpretación de las matemáticas en distintos contextos, la modelización o la generalización. Es necesaria una revisión profunda del currículo que dé más peso a los procesos y reduzca la cantidad de contenidos, ya que los resultados evidencian que no por tratar más contenidos se aprenden mejor. En este sentido, nuestro currículo ya incluye los procesos en el denominado bloque 1 (“Procesos, métodos y actitudes en matemáticas”) que tiene un peso de un 20% asignado en la matriz de especificaciones de la prueba. Pero el análisis de las pruebas propuesta bajo este marco es pesimista en cuanto a que no se está evaluando adecuadamente.

Por último, se han señalado distintas actividades de educación no formal e informal, o enseñanzas no regladas, que están teniendo un gran impacto social. Muchas de ellas están intrínsecamente relacionadas con la divulgación, pero están organizadas en programas de estudio específicos, como los programas para mayores de las distintas universidades.

## 8. REFERENCIAS

- ANECA 2005a, *Libro blanco del título de Grado en Matemáticas*, disponible en [www.aneca.es/var/media/150436/libroblanco\\_jun05\\_matematicas.pdf](http://www.aneca.es/var/media/150436/libroblanco_jun05_matematicas.pdf).
- ANECA 2005b, *Libro blanco del título de Grado en Estadística*, disponible en [http://www.aneca.es/media/150324/libroblanco\\_estadistica\\_def.pdf](http://www.aneca.es/media/150324/libroblanco_estadistica_def.pdf).
- ANECA 2015, “Evaluación para determinar la correspondencia de los títulos oficiales de Arquitectura, Ingeniería, Licenciatura, Arquitectura Técnica, Ingeniería Técnica y Diplomatura a los niveles del Marco Español de Cualificaciones para la Educación Superior. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos”, disponible en <https://tinyurl.com/y2am48ha>.
- Arce Sánchez, M., Conejo Garrote, L., y Muñoz Escolano, J.M. 2019, *Aprendizaje y enseñanza de las matemáticas*, Síntesis, Madrid.
- Arnal-Bailera, A., Muñoz-Escolano, J.M., Oller-Marcén, A. 2016, “Caracterización de las actuaciones de correctores al calificar pruebas escritas de matemáticas”, *Revista de Educación*, vol. 371, pp. 31-55.

- Apple, M.W. 1986, *Teachers and texts: A political economy of class and gender relations in education*, Routledge, New York.
- Bernardo, A., Cerezo, R., Rodríguez-Muñiz, L.J., Núñez, J.C., Tuero, E. y Esteban, M. 2015, “Predicción del abandono universitario: variables explicativas y medidas de prevención”, *Revista Fuentes*, vol. 16, pp. 63–84.
- Bishop, J. 1997, “The effect of national standards and curriculum-based exams on achievement”, *The American Economic Review*, vol. 87, 2, pp. 260-264.
- Busto Caballero, A.I., Calvo Martín, M.E. y Escribano Ródenas, M. C. 2006, “El conflicto entre las Matemáticas del Bachillerato y las Matemáticas de los primeros cursos de las Facultades de Económicas y Empresariales”, *Anales de ASEPUMA*, vol. 10, pp. 1-32.
- Carrillo Fernández, M., Cruz Báez, D.I., Gil Fariña, M.C., González Concepción, C., Pestano Gabino, C. y Sosa Martín, D.N. 2012, “Evolución de los contenidos de las matemáticas en la pau y relación con los conocimientos previos del alumnado en los grados de Economía y ADE”, *Anales de ASEPUMA*, vol. 20.
- Carrillo Fernández, M., González Concepción, C. y Sosa Martín D. N. 2013, “Una triple visión sobre la adecuación de las matemáticas impartidas en bachillerato para los grados de economía y ADE”, *Anales de ASEPUMA*, vol. 21.
- Carrillo Fernández, M., Cruz Báez, D.I., Gil Fariña M.C., González Concepción, C., Pestano Gabino, C. y Sosa Martín, D. N. 2014, “Análisis de la formación matemática preuniversitaria con datos españoles y consecuencias en los estudios de Economía y Empresa: el caso de la Universidad de La Laguna”, *Revista Internacional de Economía y Gestión de las Organizaciones*, vol. 3, 1, pp. 59-81.
- CEMAT Comisión de Educación 2018, “Conclusiones del Seminario sobre formación inicial del profesorado de matemáticas de Educación Secundaria”.
- Contreras de la Fuente, A., Ordóñez Cañada, L., Wilhemli, M.R. 2010, “Influencia de las pruebas de acceso a la universidad en la enseñanza de la integral definida en el Bachillerato”, *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 28, 3, pp. 367-384.
- Corral, N. 2017, “El abandono del Grado en Matemáticas”, Comunicación oral en la Conferencia de Decanos de Matemáticas, La Laguna, febrero de 2017.

- Flores, P. 2018, “Cierre de la formación inicial como profesor de matemáticas de secundaria, el TFM”, Sesión de Formación y Docencia Universitaria, XXII Simposio de la SEIEM, Universidad de Oviedo, Gijón.
- Font, V. 2013, “La formación inicial del profesor de matemáticas de secundaria en España”, *Revista Binacional Brasil Argentina*, vol. 2, 2, pp. 49–62.
- García, M.A. 2019, “Abandono en los Grados en Matemáticas: comparación con otros grados de Ciencias”, Comunicación oral en la Conferencia de Decanos de Matemáticas, Castellón, abril de 2019.
- Goberna, M.A., López, M.A., Pastor, J. 1985, “La influencia del examen de selectividad en la enseñanza (análisis de una experiencia en matemáticas de COU)”, *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 3, 3, pp. 181-184.
- Goñi, J.M. (Coord.) 2011a, *Matemáticas. Complementos de Formación Disciplinar*, Graó, Barcelona.
- Goñi, J.M. (Coord.) 2011b, *Didáctica de las matemáticas*, Graó, Barcelona.
- Goñi, J.M. (Coord.) 2011c, *Matemáticas. Innovación, investigación y buenas prácticas*, Graó, Barcelona.
- Huidobro Rojo, J.Á., Méndez García, M.A. y Serrano Ortega, M.L. 2010, “Del Bachillerato a la Universidad: las Matemáticas en las carreras de ciencias y tecnología”, *Aula Abierta*, vol. 38, 1, pp. 71-80.
- Informe IUNE 2016, *Actividad investigadora de la Universidad Española*, disponible en <http://www.informes.iune.es/Informe%20IUNE%202016.pdf>.
- López-Martín, M.M., Contreras, J.M., Carretero, M., Serrano, L. 2015, “Análisis de los problemas de probabilidad propuestos en las pruebas de acceso a la Universidad en Andalucía”, *Avances de Investigación en Educación Matemática*, vol. 9, pp. 65-84.
- López-Martín, M.M., Batanero, C., Díaz-Batanero, C., Gea, M.M. 2016, “La inferencia estadística en las pruebas de acceso a la universidad en Andalucía”, *Revista Paranaense de Educação Matemática*, vol. 5, 8, pp. 33-59.
- Mengual, E., Albarracín, L., Muñoz-Escolano, J. M., Oller-Marcén, A. M. y Gorgorió, N. 2019, “Diseño de criterios para reducir la variabilidad en la calificación de exámenes de matemáticas en pruebas de acceso a la universidad”, *PNA*, vol. 13, 2, pp. 62-83.

- Ministerio de Educación y Ciencia, 1982, “Orden de 14 de junio de 1982 por la que se aprueba la modificación del plan de estudios de Ingeniero de Caminos Canales y Puertos, dependiente de la Universidad Politécnica de Valencia”, Boletín Oficial del Estado, 202, 24-8-1982, pp. 22786-22787.
- Ministerio de Educación y Ciencia, 1983a, “Orden del 31 de mayo de 1983 por la que se modifica el plan de estudios de La Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos, dependiente de la Universidad Politécnica de Barcelona”, Boletín Oficial del Estado, 162, 8-7-1983, pp. 19128-19129.
- Ministerio de Educación y Ciencia, 1983b, “Orden del 27 de junio de 1983 por la que se aprueba la modificación del plan de estudios de Ingeniero de Caminos Canales y Puertos, dependiente de la Universidad Politécnica de Madrid”, Boletín Oficial del Estado, 216, 9-9-1983, pp. 24937-24938.
- Ministerio de Educación, Cultura y Deporte 2016, *Estadística del gasto público en educación*, disponible en <http://www.educacionyfp.gob.es/dms/mecd/servicios-al-ciudadano-mecd/estadisticas/educacion/recursos-economicos/gasto-publico/2016/2016NotaRes.pdf>.
- Ministerio de Educación y Formación Profesional 2019, *Estadísticas e Informes Universitarios, Estadística de estudiantes*, disponible en <http://www.educacionyfp.gob.es/servicios-al-ciudadano-mecd/estadisticas/educacion/universitaria/estadisticas/alumnado.html>.
- Muñiz-Rodríguez, L., Alonso, P., Rodríguez-Muñiz, L. J. y Valcke, M. 2016, “¿Hay un vacío en la formación inicial del profesorado de matemáticas de Secundaria en España respecto a otros países?”, *Revista de Educación*, vol. 372, pp. 111-140.
- Muñiz-Rodríguez, L., Alonso, P., Rodríguez-Muñiz, L. J. y Valcke, M. 2017, “Developing and validating a competence framework for secondary mathematics student teachers through a Delphi method”, *Journal of Education for Teaching*, vol. 43, 4, pp. 383-399.
- Muñiz-Rodríguez, L. 2017, *Initial education of future secondary mathematics teachers in Spain*, Tesis Doctoral, Universidad de Oviedo, Oviedo, disponible en [http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/45638/1/TD\\_LauraMunizRodriguez.pdf](http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/45638/1/TD_LauraMunizRodriguez.pdf).

- Nortes Martínez-Artero, R., Nortes Checa, A., Lozano Pato, F. 2015, “Las correcciones en matemáticas en las Pruebas de Acceso a la Universidad”, *Educación Siglo XXI*, vol. 33, 3, pp. 199-222.
- OECD 2018, *Panorama de la educación 2017: Indicadores de la OCDE*, Fundación Santillana, Madrid.
- Ortega, T., Berciano, A., y Pecharromán, C. 2018, *Complementos de formación matemática*, Síntesis, Madrid.
- Otero, V., y González, M.C. 2017, “Reseña de la XVII Conferencia de Decanos y Directores de Matemáticas celebrada en la Universidad de La Laguna del 23 al 25 de febrero de 2017”, *La Gaceta de la RSME*, vol. 20(2017), 2, pp. 257–267.
- Ou, D. 2010, “To leave or not to leave? A regression discontinuity analysis of the impact of failing the high school exit exam”, *Economics of Education Review*, vol. 29, pp. 171-186.
- Pastor, J. 1984, “Las pruebas de matemáticas en los exámenes de acceso”, *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 2, 1, pp. 17-24.
- QEDU 2019. *Qué estudiar y dónde en la universidad (QEDU)*, disponible en <https://www.educacion.gob.es/notasdecorte>
- Rico, L. 2004, “Reflexiones sobre la formación inicial del profesor de matemáticas de secundaria”, *Profesorado, Revista de Currículum y Formación del Profesorado*, vol. 8, 1, pp. 1–15.
- Rico, L., Gómez, P. y Cañadas, M. C. 2014, “Formación inicial en educación matemática de los maestros de Primaria en España, 1991- 2010”, *Revista de Educación*, vol. 363, pp. 35–59.
- Rico, L., Moreno, A. 2016, *Elementos de didáctica de la matemática para el profesor de Secundaria*, Pirámide, Madrid.
- Rodríguez-Muñiz, L.J., Díaz, P., Mier V. y Alonso, P. 2016, “Washback Effect of University Entrance exams in Applied Mathematics to Social Sciences”, *PLoS ONE*, vol. 11(12), e0167544.
- Ruiz de Gauna, J., Dávila, P., Etxebarria, J. y Sarasua, J.M. 2013, “Pruebas de selectividad en matemáticas en la UPV-EHU. Resultados y opiniones de los profesores”, *Revista de Educación*, vol. 362, pp. 217-246.

- Runté, R. 1998, “The impact of centralized examinations on teacher professionalism”, *Canadian Journal of Education*, vol. 23, 2, pp. 166-181.
- Smith, M.L. 1991, “The effects of external testing on teachers”, *Educational Researcher*, vol. 20, 5, pp. 8-11.
- Universidad Politécnica de Cataluña 1995, “Resolución del 15 de septiembre de 1995, de la Universidad Politécnica de Cataluña, por la que se ordena la publicación del plan de estudios de Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona, perteneciente a esta Universidad”, Boletín Oficial del Estado, 252, 21-10-1995, pp. 283-298.
- Universidad Politécnica de Madrid 2019, “Plan de Estudios del Grado en Ingeniería Biomédica”, disponible en <https://www.etsit.upm.es/estudios/grado-en-ingenieria-biomedica/plan-de-estudios/asignaturas.html>.
- Universidad Politécnica de Valencia 1997, “Resolución del 7 de mayo de 1997, de la Universidad Politécnica de Valencia, por la que se ordena la publicación del plan de estudios de Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de dicha Universidad”, Boletín Oficial del Estado, 121, 21-05-1997, pp. 15794-15817.
- Universitat Politècnica de Catalunya 2019, “Plan de estudios del Grado en Ingeniería Biomédica”, disponible en <https://www.upc.edu/es/grados/ingenieria-biomedica-barcelona-eebe>.
- Universitat Politècnica de València 2019, “Plan de estudios del Grado en Ingeniería Biomédica”, disponible en [http://www.upv.es/titulaciones/GIB/menu\\_1014824c.html](http://www.upv.es/titulaciones/GIB/menu_1014824c.html).
- Vázquez Cueto, M.J., Camacho Peñalosa, M.E., García Moreno, M.P., Masero Moreno, J. y Zapata Reina, A. 2009, “Adecuación de los conocimientos matemáticos previos a los estudios de tipo económico-empresarial”, *Revista de Enseñanza Universitaria*, vol. 34, pp. 37-43.
- Zamora Pérez, M.R.F. 2014, *Análisis de las Pruebas de Acceso a las universidades de Castilla y León (Matemáticas II)*, Tesis Doctoral, Universidad de Valladolid, Valladolid.

# SALIDAS PROFESIONALES DE LAS MATEMÁTICAS

M. Victoria Otero Espinar (Coordinadora)<sup>1</sup>, Margarita Arias López<sup>2</sup>,  
María José Ginzo Villamayor<sup>1</sup>, Adolfo Quirós Gracián<sup>3</sup>,  
F. Javier Soria de Diego<sup>4</sup>, Rodrigo Trujillo González<sup>5</sup>

1: Universidade de Santiago de Compostela

2: Universidad de Granada

3: Universidad Autónoma de Madrid

4: Universidad Complutense de Madrid

5: Universidad de La Laguna

## 1. INTRODUCCIÓN

Los estudios de Matemáticas han tenido, en los últimos años, un importante auge en su demanda, con un gran reconocimiento social y prestigio, así como un elevado aumento en la empleabilidad de su personal egresado. Es por ello por lo que se considera relevante conocer, en el momento actual, cuál es la realidad de los graduados y graduadas de las titulaciones de Matemáticas. Con este objetivo, la RSME, en colaboración con la Conferencia de Decanos de Matemáticas (CDM), ha llevado a cabo un detallado análisis relacionado con sus actividades profesionales. Para tal fin, se ha realizado la encuesta “Libro Blanco: Estudio Profesional”, cuyos resultados serán analizados en este capítulo.

Los estudios de Matemáticas han tenido, en los últimos años, un importante auge en su demanda, con un gran reconocimiento social y prestigio y mayor empleabilidad

Este cuestionario, dirigido a los egresados y egresadas de Matemáticas sin ninguna otra restricción, ha permitido obtener una amplia valoración de su situación profesional en el presente y una percepción de cuál ha sido su evolución en diversos períodos a lo largo de los años, en aspectos tan concretos como el índice de desempleo, el tiempo transcurrido hasta obtener un contrato estable, el incremento salarial según la antigüedad, etc. También se han considerado,

entre otros, los ámbitos y temáticas concretas en los que trabajan las personas tituladas y la adecuación de su formación al mercado laboral.

En estos momentos de rápidos cambios en el mundo empresarial, es importante conocer las principales tendencias, los nichos y sectores de actividad con mayor impacto en términos de empleos o la identificación de nuevas ocupaciones y perfiles profesionales que se demandarán en el futuro. Esto permitirá a las universidades prepararse, con una adecuada anticipación, para que sus titulados y tituladas se enfrenten con éxito a los retos del futuro.

Esperamos que este informe propicie la creación de observatorios con este fin.

### 1.1. Cuestionario

El análisis se basa en una encuesta que se realizó desde el 29 de octubre de 2018 hasta el 16 de enero de 2019. Para llevarla a cabo, se ha utilizado un formulario de *Google Docs* al que se ha dado difusión por diversos medios. En primer lugar, se ha enviado a las facultades de España en las que se imparten estudios de Matemáticas<sup>1</sup> con el objetivo de que fuera distribuida entre las personas recién graduadas, sector de la población de mayor interés para esta encuesta. Asimismo, se ha promocionado desde los distintos canales y redes sociales que tiene la RSME. Por último, se ha contratado una campaña en el portal LinkedIn, con la que se han obtenido respuestas adicionales de personas a las que no se había llegado por otras vías.

El principal propósito de este cuestionario ha sido analizar aspectos muy variados de personas tituladas en Matemáticas en relación a sus actividades profesionales, como el tipo de empleo y de contrato, el salario, el tiempo transcurrido hasta la estabilización, el grado de satisfacción con el trabajo desempeñado o las posibles necesidades o carencias en la formación recibida.

En este informe se analizan aspectos muy variados de personas tituladas en Matemáticas en relación a sus actividades profesionales y sus condiciones laborales

---

<sup>1</sup> Se debe entender “estudios de Matemáticas” en un sentido amplio, ya que muchas de ellas imparten también titulaciones de Estadística y, de hecho, de esos estudios proceden los diplomados y diplomadas que han contestado la encuesta. Hemos preferido mantener la denominación “Matemáticas” porque también hay otros estudios de Estadística que no hemos particularizado.

Las 30 preguntas de la encuesta se han agrupado en los diversos apartados de la **Sección 2**, donde se muestran y comentan los resultados obtenidos. En algunos casos se ha considerado de especial relevancia para el estudio, presentado en la **Sección 3**, tener en cuenta el sexo de las personas encuestadas, con el fin de valorar las diferencias entre las respuestas obtenidas. Asimismo, se ha considerado interesante establecer otro tipo de correlaciones, dependiendo de la edad, la antigüedad como titulados o el origen geográfico, aspectos que dan una mayor profundidad a los análisis desarrollados en este informe.

Para finalizar, se ha puesto en este capítulo especial énfasis en la comparativa entre los resultados obtenidos sobre la situación laboral y profesional de los matemáticos y matemáticas de los últimos años (publicados en este trabajo) y los datos del estudio elaborado en 2007 por la Comisión Profesional de la RSME y financiado por la ANECA [RSME2007]<sup>2</sup>.

## 1.2. Muestra

La **base** que se tomó para la realización de la encuesta son las personas egresadas de las titulaciones de Matemáticas o Estadística residentes en España, o bien con nacionalidad española residentes en el extranjero, independientemente de la universidad en la que hayan obtenido su título.

**Tipo de encuesta:** *online*. Las encuestas se han enviado a través de los canales propios de la RSME, los decanatos o los contactos de los autores y autoras de este documento con el fin de llegar a la mayor parte de la población. Además, como se comenta en el apartado anterior, se ha contratado una campaña de difusión en el portal LinkedIn.

**Trabajo de campo:** las encuestas se realizaron desde el 29 de octubre de 2018 hasta el 16 de enero de 2019.

**Número de casos:** durante ese período, se han registrado 2557 encuestas, de las cuales 2479 proceden de personas tituladas por universidades españolas (figura 1), 30, por universidades internacionales y 48 han sido contestadas por egresados y egresadas cuya universidad de origen no se ha podido identificar.

---

<sup>2</sup> [RSME2007] *Salidas Profesionales de los Estudios de Matemáticas. Análisis de la Inserción Laboral y Ofertas de Empleo*. Editado por RSME-ANECA, 2007. ISBN: 978-84-935196-0-5. Disponible en: <https://www.rsme.es/wp-content/uploads/1970/01/RSME-ANECA.pdf>.

Figura 1. Número de personas encuestadas por Comunidad Autónoma



Nota: Relación entre alumnado que ha estudiado / residencia de los mismos. Por ejemplo, para el caso de Galicia: 288/238 significa que 288 estudiaron el grado en Galicia y que 238 residen en Galicia (según la tabla 1, hay 218 que cumplen ambas condiciones simultáneamente).

Tabla 1

	An	Ar	Can	CyL	Cat	Ma	Na	VA	Ex	Ga	IB	IC	Ri	PV	As	Mu	Int	NA	Total
Andalucía	402			3	2	7		3	2	3				4	1	3		5	435
Aragón	2	35			1	2		1		2			1	1		1		1	47
Asturias	1	1	5	3				1		2		1		1	58			0	73
Cantabria		1	27	1		1				2		1		4	1			1	39
Castilla y León	1		2	20		2		1	1	1		1		1	4	2	1	1	38
Castilla-La Mancha	5	1				9		5						1			1	1	23
Cataluña	13		2	1	163	4		8	2	4	3	3		10	5		5	3	226
Ceuta / Melilla	3																	0	3
Comunidad de Valencia	2			3		2		124						2		5	2	7	147
Extranjero	21	4	4	3	51	38		9	1	16		6		12	8	3	10	3	189
Extremadura	3			2		2				45								2	54
Galicia	1	1			1			1		218				1	9		3	3	238
Islas Baleares					7	1		1			15				1			1	26
Islas Canarias										2		100			1			0	103
La Rioja		3						1					35	2				0	41
Madrid	61	5	11	17	8	286		27	15	35	1	23	7	19	23	12	7	13	570
Murcia			1	1				2								62		1	67
Navarra	2	2				1	1			2			11	13				1	33
País Vasco	2	1	1			1		2		1			4	186	1		1	5	205
<b>Total</b>	<b>519</b>	<b>54</b>	<b>53</b>	<b>54</b>	<b>233</b>	<b>356</b>	<b>1</b>	<b>186</b>	<b>66</b>	<b>288</b>	<b>19</b>	<b>135</b>	<b>58</b>	<b>257</b>	<b>112</b>	<b>88</b>	<b>30</b>	<b>48</b>	<b>2557</b>

Nota: Por filas tenemos la CC. AA. de residencia y por columnas la CC. AA. donde han estudiado el grado. La columna “Int” representa aquellas personas que aun residiendo en España han obtenido su título en una universidad internacional. La columna “NA” representa aquellas que, aun residiendo en España, no se ha podido identificar su universidad.

No se ha podido realizar un muestreo previo, pues no se disponía del número total de personas egresadas, por lo que se optó por llegar al mayor número de encuestas posible.

El análisis comienza con una descripción de la población encuestada, que incluye los parámetros básicos de sexo, edad y distribución geográfica.

En la tabla 2, la distribución por sexos en la muestra refleja un indicio de su homogeneidad. Comparando con el estudio anterior [RSME2007], los porcentajes por sexo fueron similares: de los 516 encuestados, el 54,3% eran hombres y el 45,7%, mujeres.

**Tabla 2. Porcentajes de hombres y mujeres que respondieron a la encuesta**

	Número	Porcentaje
Hombre	1.331	52,1%
Mujer	1.226	47,9%
Total	2.557	100,0%

En la tabla 3, aparecen las personas encuestadas distribuidas por franja de edad. La mayoría (80%) tiene una edad por debajo de los 40 años, lo que permite analizar la evolución profesional reciente de los titulados. Por otro lado, el 46% tienen más de 30 años, dato que permite tener una clara percepción de los trabajos estables de la población analizada.

**Tabla 3. Proporción de franjas de edades**

	Número	Porcentaje
Menor de 25 años	543	21%
Entre 25 y 29 años	831	32%
Entre 30 y 34 años	438	17%
Entre 35 y 39 años	229	9%
40 años o más	511	20%
Total	2.557	100%

La población encuestada es, en esta ocasión, ligeramente más joven que la de [RSME2007]. Entonces, la edad del 76,1% de quienes respondieron estaba por debajo de los 40 años y el 69,7% tenían más de 30 años.

La distribución por grupos de edad en cada sexo es similar (figura 2).

**Figura 2. Proporción de franjas de edades (por sexos)**

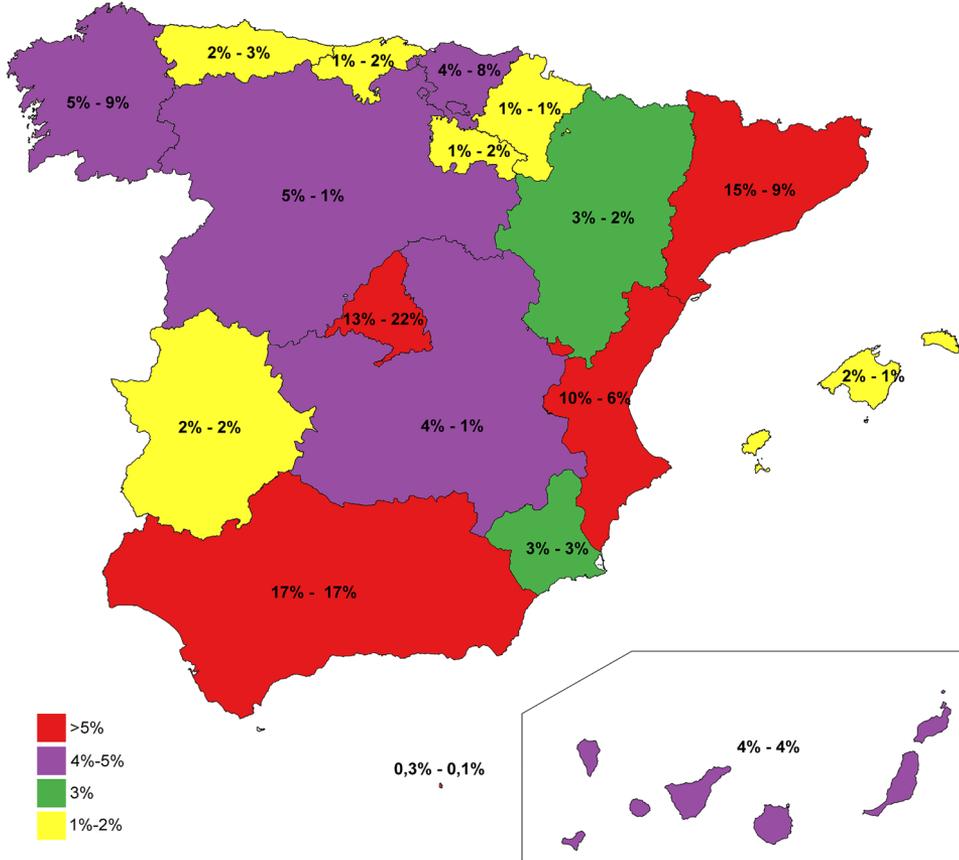


La distribución geográfica (figura 3 y tabla 4) se adecúa razonablemente a la densidad de población de nuestro país (aunque hay algunas diferencias reseñables), con una mayor participación en las comunidades de Madrid y Andalucía, seguidas de Galicia, Cataluña y el País Vasco.

La mayoría de esas diferencias pueden deberse al método de recogida de datos (y quizá a la penetración de la RSME en las distintas comunidades autónomas), aunque en algún caso, y notablemente para el elevado porcentaje de participación desde Madrid, es probable que influya también el mercado de trabajo.

Cabe destacar que se han recibido encuestas de todas las comunidades autónomas, e incluso algunas del extranjero (7%). El porcentaje de personas encuestadas residentes fuera de nuestro país es similar al porcentaje de españoles y españolas que residen fuera del mismo.

Figura 3. Distribución geográfica



Nota: Izquierda: padrón. Derecha: encuesta. El reparto de colores se refiere a la distribución del padrón por CC.AA.

**Tabla 4. Distribución geográfica**

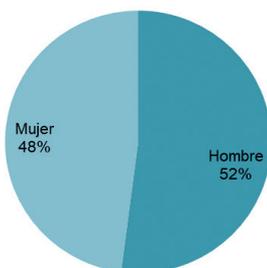
	<b>Padrón 2018</b>	<b>Resultados encuesta</b>	<b>% Padrón</b>	<b>% Resultados encuesta</b>
Andalucía	8.384.408	435	17%	17%
Aragón	1.308.728	47	3%	2%
Principado de Asturias	1.028.244	73	2%	3%
Islas Baleares	1.128.908	26	2%	1%
Canarias	2.127.685	103	4%	4%
Cantabria	580.229	39	1%	2%
Castilla y León	2.409.164	38	5%	1%
Castilla-La Mancha	2.026.807	23	4%	1%
Cataluña	7.600.065	226	15%	9%
Comunidad Valenciana	4.963.703	147	10%	6%
Extremadura	1.072.863	54	2%	2%
Galicia	2.701.743	238	5%	9%
Comunidad de Madrid	6.578.079	570	13%	22%
Región de Murcia	1.478.509	67	3%	3%
Navarra	647.554	33	1%	1%
País Vasco	2.199.088	205	4%	8%
La Rioja	315.675	41	1%	2%
Ceuta y Melilla	171.528	3	0,35%	0,12%
Españoles residentes en el extranjero	2.482.808	189	5,05%	7%
<b>Total</b>	<b>46.722.980</b>	<b>2.557</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

## **2. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA ATENDIENDO A LAS PREGUNTAS DEL CUESTIONARIO**

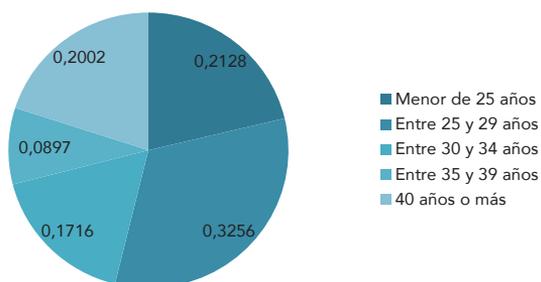
Como ya se ha mencionado en la Introducción, las 30 preguntas de la encuesta realizada se han agrupado adecuadamente, dando título a los diversos apartados de esta sección, donde se muestran, y comentan con brevedad, los resultados obtenidos. Un análisis más exhaustivo se realizará en la sección 3.

## 2.1. Datos personales

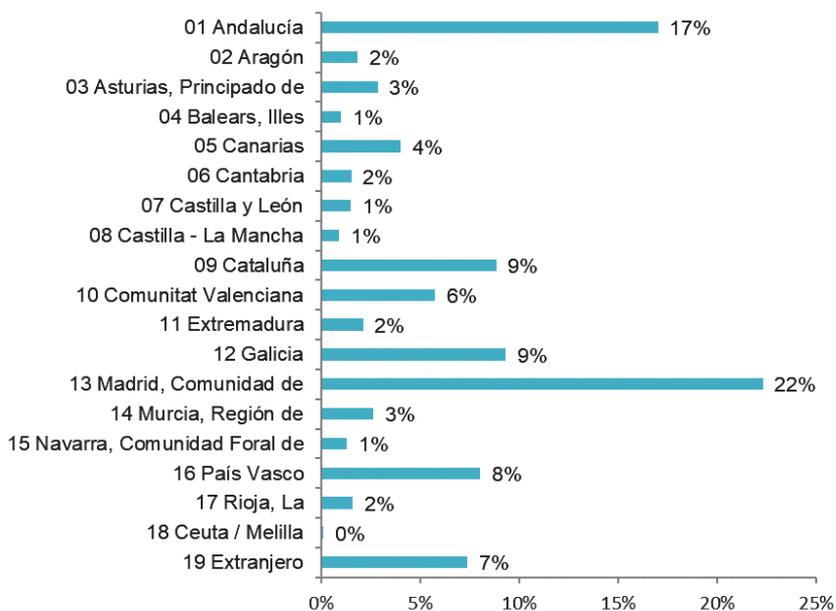
### 2.1.1. Sexo



### 2.1.2. Edad

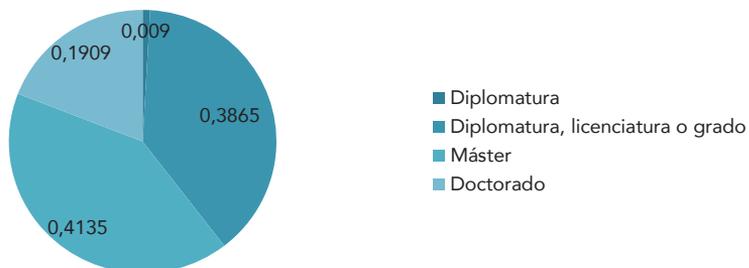


### 2.1.3. Residencia



## 2.2. Estudios

### 2.2.1. Estudios



### 2.2.2. ¿En qué universidad cursó los estudios de diplomatura / grado / licenciatura?

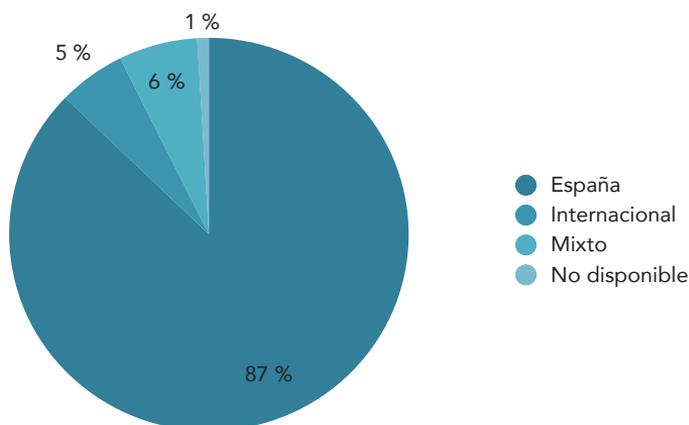
Universidad	Número	Porcentaje
US	286	11%
USC	286	11%
UPV-EHU	257	10%
UCM	169	7%
UGR	142	6%
UAM	135	5%
ULL	135	5%
UNIOVI	112	4%
UPC	111	4%
UV	93	4%
UM	86	3%
UA	80	3%
UB	72	3%
UNEX	66	3%
UNIRIOJA	58	2%
UMA	55	2%
UZ	54	2%
UNICAN	53	2%
UAB	50	2%
UPM	49	2%
USAL	28	1%

Universidad	Número	Porcentaje
UVA	26	1%
UAL	19	1%
UIB	19	1%
UCA	15	1%
UNED	13	1%
UJI	9	0%
UPoV	4	0%
UPCT	2	0%
URJ	2	0%
UAH	1	0%
UCO	1	0%
UDC	1	0%
UHU	1	0%
UIMP	1	0%
UPNA	1	0%
UVIGO	1	0%
<b>Total</b>	<b>2493</b>	<b>100%</b>

Nota: solo se muestran las universidades españolas<sup>3</sup>

<sup>3</sup> En esta y en las siguientes tablas: AFI: AFI Escuela de Finanzas, UA: Univ. Alicante, UAB: Univ. Autónoma de Barcelona, UAH: Univ. Alcalá de Henares, UAL: Univ. Almería, UAM: Univ. Autónoma de Madrid, UB: Univ. Barcelona, UC3M: Univ. Carlos III de Madrid, UCA: Univ. Cádiz, UCM: Univ. Complutense de Madrid, UCO: Univ. Córdoba, UDC: Univ. La Coruña, UGR: Univ. Granada, UHU: Univ. Huelva, UIB: Univ. Islas Baleares, UJI: Univ. Jaume I, ULL: Univ. La Laguna, UM: Univ. Murcia, UMA: Univ. Málaga, UMH: Univ. Miguel Hernández, UNED: Univ. Nacional de Educación a Distancia, UNEX: Univ. Extremadura, UNICAN: Univ. Cantabria, UNIOVI: Univ. Oviedo, UNIR: Univ. Internacional de La Rioja, UNIRIOJA: Univ. La Rioja, UPC: Univ. Politécnica de Cataluña, UPCT: Univ. Politécnica de Cartagena, UPM: Univ. Politécnica de Madrid, UPNA: Univ. Pública de Navarra, UPO: Univ. Pablo de Olavide, UPoV: Univ. Politécnica de Valencia, UPV-EHU: Univ. País Vasco, URJ: Univ. Rey Juan Carlos, US: Univ. Sevilla, USAL: Univ. Salamanca, USC: Univ. Santiago de Compostela, UV: Univ. Valencia, UVA: Univ. Valladolid, UVIC: Univ. Vic, UVIGO: Univ. Vigo, UZ: Univ. Zaragoza, UIMP: Univ. Internacional Menéndez Pelayo.

### 2.2.3. En su caso, ¿en qué universidad cursó los estudios de máster?



Nota: 11 de los 1.173 que afirman haber cursado un máster no han especificado el nombre de la universidad. 1.023 lo estudiaron en una universidad de España, 64, del extranjero y 75 en España y el Extranjero. 116 afirman haber cursado también estudios de doctorado, por eso en la tabla 5 aparecen solo 1.057 encuestados con titulación de Máster.

Universidad	Número	Porcentaje
USC	116	10%
UPV-EHU	73	6%
US	67	6%
UGR	63	5%
UPC	59	5%
UAM	55	5%
UCM	42	4%
UM	36	3%
AFI	32	3%
UB	32	3%
ULL	29	2%
UNEX	27	2%
UNICAN	26	2%
UV	26	2%
UMA	25	2%
UNIRIOJA	20	2%
UNIR	19	2%

Universidad	Número	Porcentaje
UPM	17	1%
UVIGO	17	1%
UAB	14	1%
UNIOVI	14	1%
UPO	14	1%
UC3M	11	1%
UDC	11	1%
UMH	11	1%
UZ	11	1%
UPoV	10	1%

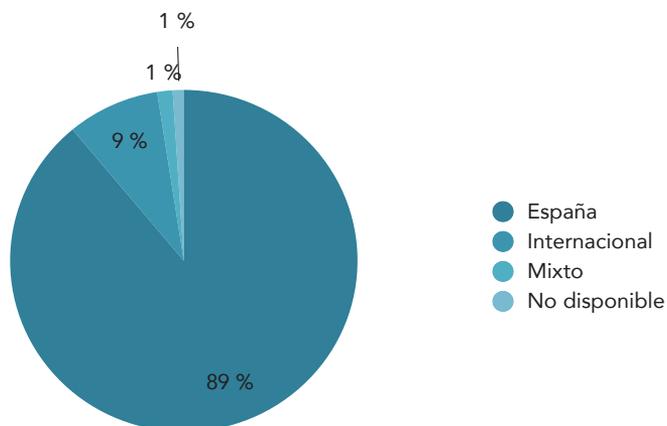
Nota: Solo se muestran las universidades españolas con frecuencia 10 o más.

Universidad	Número	Porcentaje
UP6	7	1%
UOX	6	1%
CAUN	4	0%
UGA	4	0%
EPFL	3	0%
DTU	2	0%
ESIC	2	0%
ETHZ	2	0%
TUB	2	0%
UED	2	0%

Nota: solo se muestran las universidades extranjeras con frecuencia 2 o más<sup>4</sup>

<sup>4</sup> En esta tabla: UP6: Univ. París VI Pierre et Marie Curie (Francia), UOX: Univ. Oxford (UK), CAUN: Cambridge Univ. (UK), UGA: Univ. Grenoble Alpes (Francia), EPFL: EPFL Ecole Polytechnique Federale de Lausanne (Suiza), DTU: Technical Univ. of Denmark (Dinamarca), ESIC: ESIC Business and Marketing School, ETHZ: ETH Zürich (Suiza), TUB: Technische Univ. Berlin (Alemania), UED: Univ. of Edinburgh (UK).

#### 2.2.4. En su caso, ¿en qué universidad cursó los estudios de doctorado?



Nota: 5 de los 488 que afirman haber cursado un doctorado no indican el nombre de la universidad. 434 aseguran haberlo estudiado en una universidad española y 41, en el extranjero y 7 en España y el extranjero.

Universidad	Número	Porcentaje
UCM	44	9%
USC	39	8%
US	35	7%
UGR	33	7%
UAM	28	6%
UB	24	5%
UV	19	4%
UPC	17	3%
UZ	17	3%
UNIOVI	13	3%
UM	12	2%
UPoV	12	2%
UPV-EHU	12	2%
UC3M	10	2%

Nota: Solo se muestran las universidades españolas con frecuencia 10 o más.

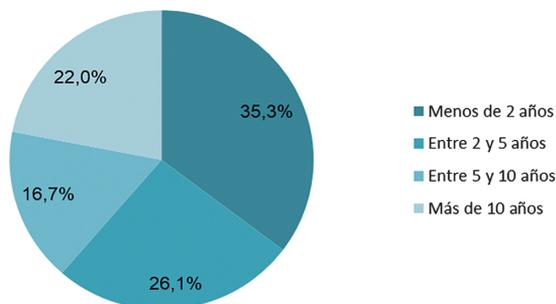
Universidad	Número	Porcentaje
EPFL	2	1%
HHU	2	1%
UBON	2	1%
ULAN	2	1%
UPRIN	2	1%

Nota: Solo se muestran las universidades extranjeras con frecuencia 2 o más.

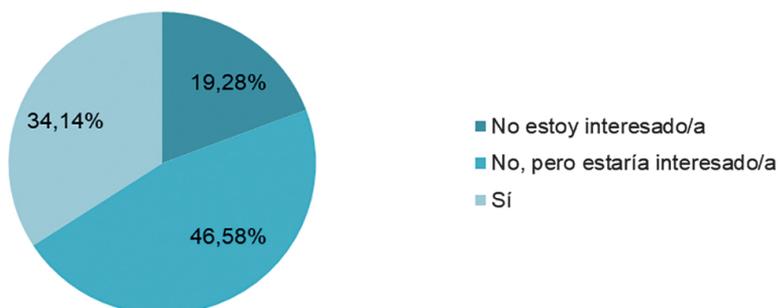
Otros centros donde alguna de las personas encuestadas realizó algún tipo de formación son:

IEB: Instituto de Estudios Bursátiles, IESIDE: Instituto de Educación Superior Intercontinental de la Empresa, UBU: Univ. Burgos, UDIMA: Univ. Distancia de Madrid, UIV: Univ. Internacional de Valencia, UJAEN: Univ. Jaén, UNILEON: Univ. León, UPF: Univ. Pompeu Fabra, URL: Univ. Ramon Llull, UCLM: Univ. Castilla-La Mancha, UCOMILLAS: Univ. Pontificia de Comillas, UEUROPEA: Univ. Europea de Madrid, ULPGC: Univ. Las Palmas de Gran Canaria, UCAM: Univ. Católica San Antonio de Murcia, UCJC: Univ. Camilo José Cela, UNEB: Univ. de Nebrija, IBME: Instituto de Bolsas y Mercados Españoles, ESRI: Esri España, EOI: Escuela de Organización Industrial de Madrid, GSE: Barcelona Graduate School of Economics, ISCIH: Instituto de Salud Carlos III, UI1: Univ. Isabel I, UNA: Univ. de Navarra, ESMUC: Escola Superior de Música de Catalunya, UIC: Univ. Internacional de Catalunya, UOC: Univ. Oberta de Catalunya, U-tad: U-tad Centro Universitario de Tecnología y Arte Digital, UEMC: Universidad Europea Miguel de Cervantes, CSIC: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, CUNEF: Colegio Univ. de Estudios Financieros, UFV: Univ. Francisco de Vitoria, Kschool: Kschool, UAX: Univ. Alfonso X el Sabio, CIFF: Centro Internacional de Formación Financiera, DEUSTO: Univ. de Deusto, Mondragon: Mondragon Unibertsitatea, IE: IE - Educación Superior / IE Business School.

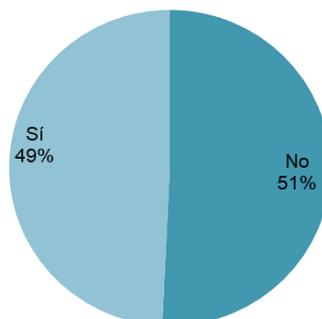
2.2.5. ¿Cuántos años hace que terminó dichos estudios?



2.2.6. ¿Mantiene algún tipo de relación con el centro donde cursó sus estudios de diplomatura / grado / licenciatura?



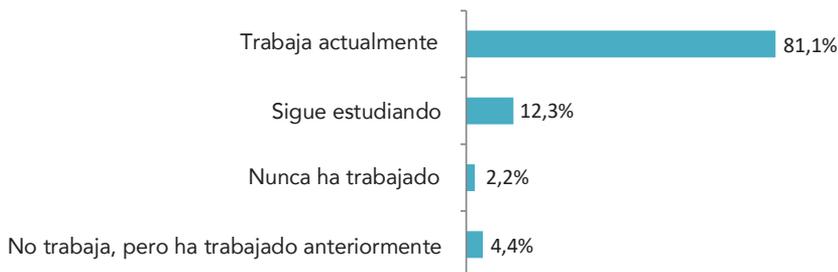
2.2.7. ¿Ha cursado, o tiene intención de cursar, alguna formación de posgrado específica? En caso afirmativo, ¿cuál?



Para la segunda parte de la pregunta, véase la **Sección 3.1**.

## 2.3. Empleo

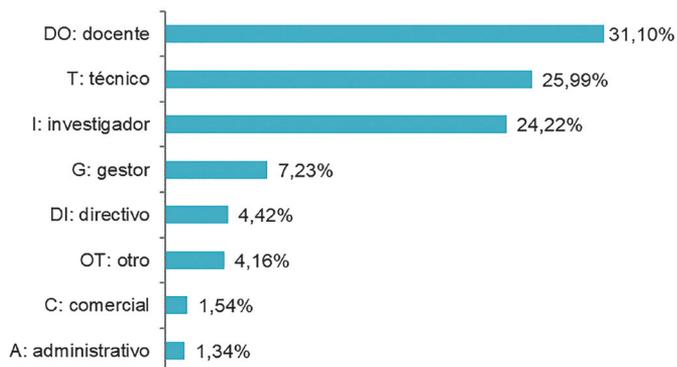
### 2.3.1. Empleo



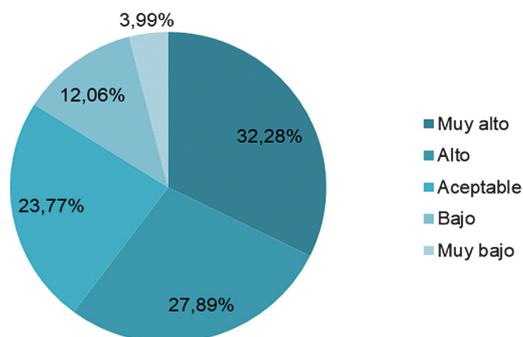
### 2.3.2. Tipo de empresa



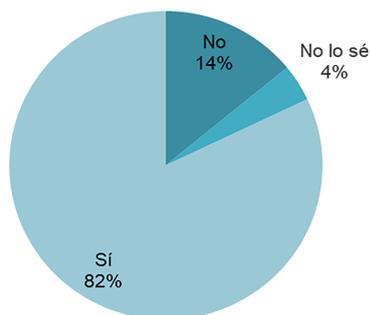
### 2.3.3. Actividad principal en la empresa



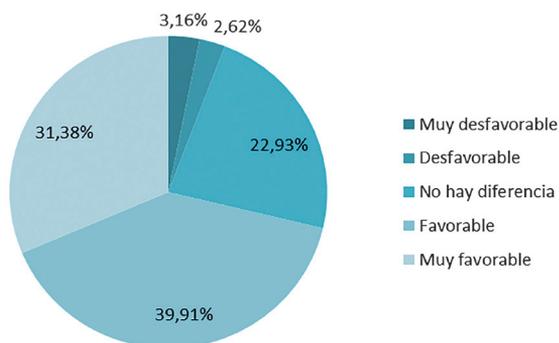
2.3.4. Grado de correlación entre su actividad laboral y su preparación académica



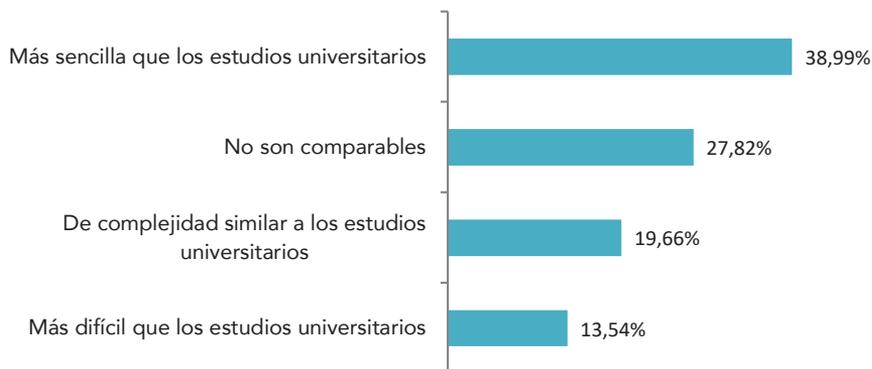
2.3.5. ¿Hay más matemáticos/as trabajando en su empresa?



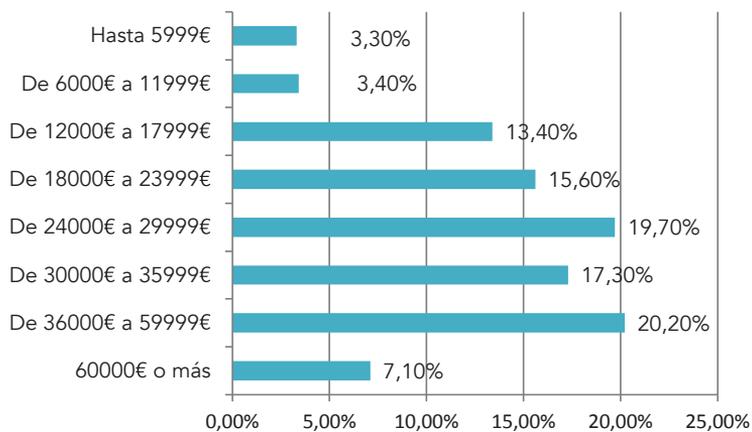
2.3.6. ¿Considera que su formación como matemático/a le distingue en su quehacer diario con respecto a otros titulados/as superiores en su puesto de trabajo?



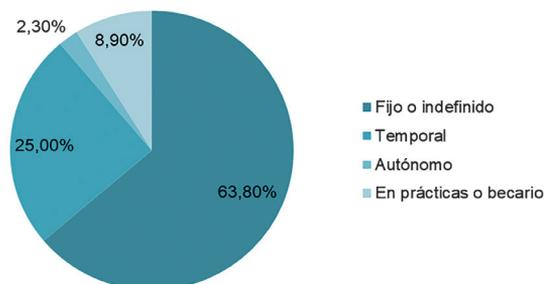
### 2.3.7. A lo largo de su vida laboral, considera que su actividad profesional ha sido en general



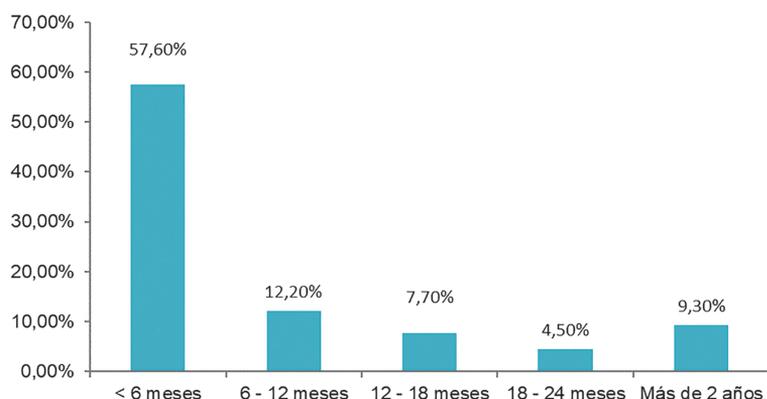
### 2.3.8 Ingresos anuales brutos



### 2.3.9. Tipo de contrato actual

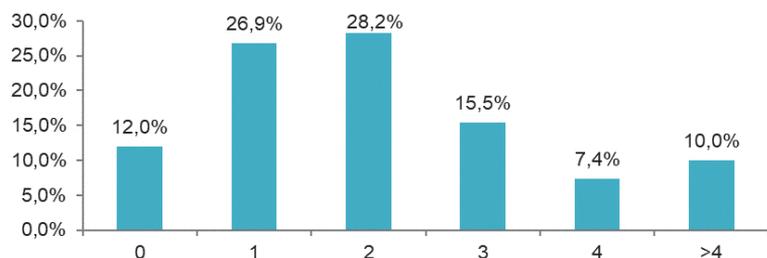


2.3.10. *Tiempo transcurrido desde la finalización de los estudios hasta la obtención del primer empleo estable*

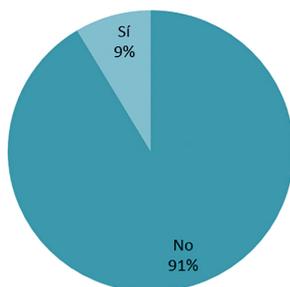


Nota: el 8,76% de los encuestados no ha contestado este apartado pues no tienen empleo estable.

2.3.11. *Número de empleos distintos que ha tenido hasta el presente*

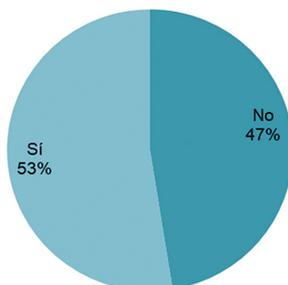


2.3.12. *¿Ha desarrollado alguna iniciativa emprendedora empresarial por su cuenta? En caso afirmativo, por favor, describa brevemente su experiencia*

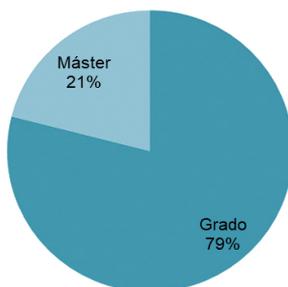


Nota: para la segunda parte de la pregunta, véase la Sección 3.1.

2.3.13. *¿Hay conocimientos que haya adquirido en su actividad profesional que piense que deberían estar incluidos en los actuales planes de estudios de Matemáticas?*



2.3.14. *En caso afirmativo, ¿en qué nivel los incluiría?*



#### 2.4. Otras observaciones que desee añadir

Véase el anexo, en el que se recoge una amplia selección de las respuestas más representativas, evitando aquellas que no guardaban relación con los objetivos de este estudio, así como las que citaban explícitamente el nombre de centros o personas.

### 3. ANÁLISIS DE LA ENCUESTA

En este apartado se muestra un análisis detallado de las respuestas obtenidas, estableciendo una correlación entre las diversas variables del estudio (edad, sexo, antigüedad de la titulación, localización geográfica, salarios, tipos de empleo, etc.). En cada cuestión considerada se incluye una tabla o gráfica representativa para ilustrar los respectivos comentarios.

### 3.1. Formación de la población encuestada

En cuanto al nivel de estudios alcanzado, la tabla 5 muestra que el 60,45% de las personas encuestadas tienen titulación de posgrado (máster o doctorado), siendo el porcentaje de mujeres doctoras ligeramente inferior al de los hombres.

Tabla 5. Titulación de los encuestados (global y por sexos)

	Diplomatura	Licenciatura o Grado	Máster	Doctorado	Total
<b>Total</b>	23	988	1.057	488	2.556
<b>Porcentaje</b>	0,90%	38,65%	41,35%	19,09%	100%
<b>Hombre</b>	13	485	556	277	1.331
<b>Mujer</b>	10	503	501	211	1.225
<b>% Hombre</b>	1%	36%	42%	21%	100%
<b>% Mujer</b>	1%	41%	41%	17%	100%

Nota: Una persona encuestada no ha respondido a esta pregunta.

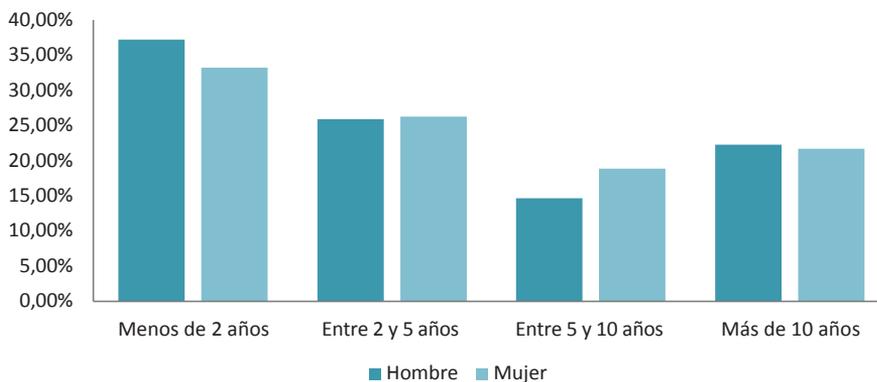
Como se puede ver en la tabla 6, el 65% del total de las personas encuestadas han obtenido su último título hace más de dos años.

Tabla 6: Tiempo transcurrido desde la obtención del último título

	Número	Porcentaje
<b>Menos de 2 años</b>	902	35,3%
<b>Entre 2 y 5 años</b>	667	26,1%
<b>Entre 5 y 10 años</b>	426	16,7%
<b>Más de 10 años</b>	562	22,0%
<b>Total</b>	2.557	100%

La distribución por el tiempo transcurrido desde la obtención del título en cada sexo es similar (figura 4).

Figura 4. Tiempo transcurrido desde la obtención del título (por sexos)



Las tablas 7, 8 y 9 relacionan el último título obtenido por las personas encuestadas con sus campos de trabajo.

Tabla 7. Titulación y campo de trabajo (global)

TODOS	Diplomatura		Licenciatura o Grado		Máster		Doctorado		Total	
	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%
No docente	21	2%	611	49%	535	43%	90	7%	1.257	100%
Centro enseñanza preuniversitaria	1	0%	149	41%	191	53%	19	5%	360	100%
Centro investigación	1	1%	13	9%	70	51%	54	39%	138	100%
Universidad	0	0%	21	4%	155	32%	305	63%	481	100%
NA	0	0%	194	61%	106	33%	20	6%	320	100%

Tabla 8. Titulación y campo de trabajo (hombres)

HOMBRES	Diplomatura		Licenciatura o Grado		Máster		Doctorado		Total	
	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%
No docente	12	2%	307	47%	282	43%	53	8%	654	100%
Centro enseñanza preuniversitaria	1	1%	57	38%	83	55%	10	7%	151	100%
Centro investigación	0	0%	9	12%	36	47%	32	42%	77	100%
Universidad	0	0%	12	4%	95	34%	170	61%	277	100%
NA	0	0%	485	36%	194	15%	277	21%	1.331	100%

Tabla 9. Titulación y campo de trabajo (mujeres)

MUJERES	Diplomatura		Licenciatura o Grado		Máster		Doctorado		Total	
	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%
No docente	9	1%	304	50%	253	42%	37	6%	603	100%
Centro enseñanza preuniversitaria	0	0%	92	44%	108	52%	9	4%	209	100%
Centro investigación	1	2%	4	7%	34	56%	22	36%	61	100%
Universidad	0	0%	9	4%	60	29%	135	66%	204	100%
NA	0	0%	94	64%	46	31%	8	5%	148	100%

En cuanto al interés por ampliar su formación, el 45% de las personas encuestadas han cursado, o tienen intención de cursar, alguna formación de posgrado específica. El 39,37% de estas optan por el doctorado. Respecto a las que cursan o cursarían formación de máster, los datos se distribuyen de la siguiente forma:

- 14,49%, máster de los agrupados en la categoría de informática.
- 13,29%, máster relacionado con la educación.
- 11,15%, máster relacionado con matemáticas.
- 6,78%, máster relacionado con finanzas.
- 2,23%, otros estudios de máster.
- 9,43%, no han especificado qué tipo de máster.

El 45% de las personas encuestadas han ampliado o tienen intención de ampliar su formación con estudios de posgrado específico. El 39,37% de estas optan por el doctorado

Para hacer esta clasificación, se ha incluido en la categoría de informática todos los másteres relacionados con *big data*, *machine learning*, inteligencia artificial, *software* y sistemas, informática, bioinformática, seguridad informática, ciberseguridad, *games technology*, *computer science*, robótica, programación de videojuegos, etc.

En la categoría “máster relacionado con la educación” se hace referencia, de manera mayoritaria, al máster universitario en Profesorado de Enseñanza Secundaria Obligatoria y Bachillerato y Formación Profesional y Enseñanza de

Idiomas, aunque también se citan otros como Didáctica de las Matemáticas o Dirección Pedagógica.

Entre los másteres de matemáticas, además de los de Matemáticas Avanzadas, se consideran también los de Estadística e Investigación Operativa, Bioestadística, Lógica, Ingeniería Matemática, Matemática Industrial, etc.

Los másteres de finanzas contemplan títulos como Ciencias Actariales y Financieras, Experto en Gestión de Empresas de Transporte Aéreo, Finanzas Cuantitativas, *Marketing*, Banca y Mercados Financieros, Econometría, etc.

Por último, en la categoría de “otros”, se citan los de Física, Astrofísica, Meteorología y Geofísica, Criminología, Ingeniería Eléctrica y Mecánica, etc.

Se observa además que las personas recién tituladas tienen más interés en una mayor formación, pues el 48% de quienes se graduaron hace menos de dos años cursan o han cursado otros estudios después de finalizar el grado. En cambio, de las personas egresadas hace más de diez años, solo un 13% han ampliado su formación.

Atendiendo a la edad de las personas egresadas, las más jóvenes, de menos de 30 años, tienen más interés en una mayor formación, y suponen un 67% de quienes cursan o han cursado otros estudios después de finalizar el grado.

Las personas más jóvenes entre las egresadas “tituladas” son las que tienen más interés en una mayor formación, y suponen un 67% de quienes cursan o han cursado otros estudios después de finalizar el grado

Es probable que la sustitución de las licenciaturas por la estructura grado-máster explique mucho del interés de las personas más jóvenes por la formación de posgrado.

Por sexo, los hombres muestran mayor interés en continuar su formación: 57% frente al 43% de mujeres. Asimismo, tienen más interés en cursar doctorado: un 45% de los hombres frente a un 31% de las mujeres. En cuanto a los másteres relacionados con la informática, interesan a un 16% de los hombres y a un 13% de las mujeres. Sin embargo, cursan un máster relacionado con la educación el 20% de mujeres frente al 8% de hombres. En el resto de másteres no se encuentran diferencias por sexo.

Aquellas personas cuyo máximo nivel de formación es licenciatura o grado y que muestran un interés por aumentar su formación con otros estudios sitúan

al mismo nivel los másteres de Educación y los de Informática, ambos un 21%. Un 18% se interesa por estudios de máster sin especificar, un 15%, por cursos de doctorado, un 11%, por un máster de Matemáticas, un 8%, por uno relacionado con Finanzas y el 2%, por otro tipo de estudios.

De entre las personas encuestadas con un nivel de formación máximo de máster, el 51% tienen intención de cursar el doctorado, mientras que un 44% manifiestan interés por otro máster. De estos, un 11% cursarían un máster en Informática, también 11% en Matemáticas. Un 10% estudiaría un máster de Profesorado, un 7%, en Finanzas y el 5% restante, otros másteres no especificados.

Mirando los datos por CC. AA. se destaca que:

- En las que se tiene más interés en másteres relacionados con educación son: en Cantabria, con un 44%; en Castilla-La Mancha (empatado con doctorado y con máster en Matemáticas), con un 23%; en Extremadura, con un 46%; y en Navarra, con un 35% de personas interesadas. Por el contrario, las comunidades en las que se manifiesta un menor interés por esta formación son en el Principado de Asturias, con un 9%; en Galicia, con un 8%; y en Madrid, con un 7%.
- Donde hay un mayor interés en los másteres relacionados con las matemáticas es en Galicia, con un 26%.
- Destaca que en Cataluña, un 23% de las personas egresadas están interesadas en másteres relacionados con informática, frente a un 7% en másteres en Matemáticas y un 4%, en Profesorado.
- Entre las personas encuestadas que residen en el extranjero, el 67% tiene interés por cursar un doctorado o ya ha cursado uno.

### 3.2. Situación laboral

La muestra considerada arroja (tabla 10) la siguiente distribución con respecto a la situación laboral de las personas encuestadas.

**Tabla 10. Situación de empleo o actividad**

	% Total	% Hombre	% Mujer
<b>Sigue estudiando</b>	12,3%	12,4%	12,2%
<b>Nunca ha trabajado</b>	2,2%	2,3%	2,2%
<b>No trabaja, pero ha trabajado anteriormente</b>	4,4%	4,4%	4,3%
<b>Trabaja actualmente</b>	81,1%	80,9%	81,2%
<b>Total</b>	100%	100%	100%

El 12,3% de las personas encuestadas sigue estudiando, el 81,1% está trabajando y solo el 6,6% no ha trabajado nunca o, habiendo trabajado, no lo hace actualmente. Se puede estimar, por tanto, (tabla 11) que la tasa de actividad es del 87,7% y la de paro entre las activas es del 7,5%, sin que haya apenas diferencias significativas entre sexos (figura 5)<sup>5</sup>.

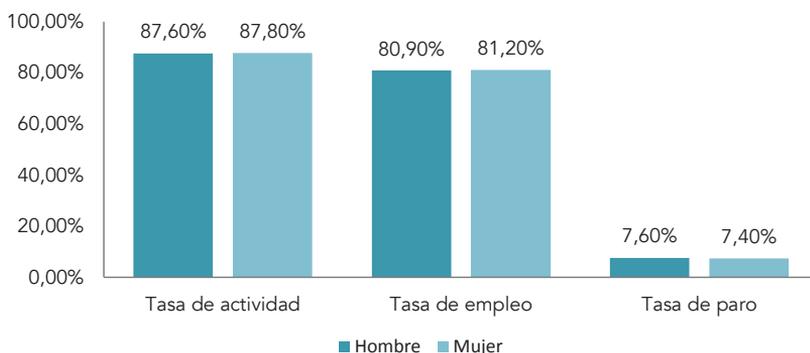
La tasa de actividad de las personas encuestadas es del 87,7% y la de paro entre las activas es del 7,5%, sin que haya apenas diferencias significativas entre sexos.  
El 12,3% de las personas encuestadas sigue estudiando, el 81,1% está trabajando y solo el 6,6% no ha trabajado nunca o, habiendo trabajado, no lo hace actualmente.

**Tabla 11. Tasas de actividad, empleo y paro**

	% Total	EPA, cuarto trimestre 2018. Población general	EPA, cuarto trimestre 2018. Población con estudios superiores
<b>Tasa de actividad</b>	87,7%	69,73%	80%
<b>Tasa de empleo</b>	81,1%	58,33%	72,91%
<b>Tasa de paro</b>	7,5%	16,53%	8,87%

<sup>5</sup> Se han utilizado las definiciones habituales: tasa de actividad=cociente entre el número de activos y la población total; tasa de empleo= cociente entre el número de ocupados y la población total; tasa de paro= cociente entre el número de parados y el de activos.

Figura 5. Tasas de actividad, empleo y paro (por sexos)



Comparando con los datos proporcionados por el INE para la población entre 16 y 64 años de edad en la Encuesta de Población Activa (EPA) del cuarto trimestre de 2018<sup>6</sup>, que es cuando se recogieron los datos para el presente estudio, se constata que la tasa de paro entre los matemáticos y matemáticas (7,5%) es menos de la mitad que entre la población en general (16,53%), con unas tasas de actividad y empleo muy superiores (aunque hay que tener en cuenta que nuestra muestra no incluye personas entre los 16 y los 22 años, que sí se contabilizan en la población que estudia la EPA). También si se compara con los datos de la EPA para la población que cuenta con estudios superiores, los datos son favorables a las personas tituladas en Matemáticas, que tienen una menor tasa de desempleo (7,5% según nuestro estudio frente al 8,87% que da la EPA para el conjunto de quienes tienen estudios superiores) con una mayor tasa de actividad (87,7% frente a 80%).

Según nuestra encuesta la tasa de paro entre los matemáticos y matemáticas (7,5%) es menos de la mitad que entre la población en general (16,53%), teniendo en cuenta los datos de EPA, con unas tasas de actividad y empleo muy superiores. Las personas tituladas en Matemáticas tienen una menor tasa de desempleo y una mayor tasa de actividad que el de las que tienen estudios superiores.

<sup>6</sup> [http://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica\\_C&cid=1254736176918&menu=ultiDatos&cidp=1254735976595](http://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176918&menu=ultiDatos&cidp=1254735976595).

Mirando únicamente a los datos que proporciona el INE para el sector “**Ciencias naturales, químicas, físicas y matemáticas**” en la EPA de 2018 (tabla 12), tanto la tasa de actividad como la de ocupación obtenidas en nuestra encuesta son superiores a las de la “población científica en general”. Cabe destacar la gran diferencia en la tasa de paro para las mujeres, que en el caso de las matemáticas que han contestado a la encuesta es del 7,4% (ligeramente inferior a la de los hombres), mientras que la EPA da para las mujeres que trabajan en campos científicos una tasa de paro del 13,15% (un 51,5% superior a la de los hombres).

Cabe destacar la gran diferencia en la tasa de paro en las mujeres, que en el caso de las matemáticas que han contestado a la encuesta es del 7,4%, mientras que la EPA da para las mujeres que trabajan en campos científicos una tasa de paro del 13,15%

**Tabla 12: Tasas de actividad, empleo y paro en los campos científicos (EPA, 2018)**

<b>Ciencias Naturales, Químicas, Físicas y Matemáticas 2018</b>			
	<b>% Total</b>	<b>% Hombre</b>	<b>% Mujer</b>
<b>Tasas de actividad</b>	78,66%	75,62%	81,56%
<b>Tasas de empleo</b>	69,97%	69,06%	70,44%
<b>Tasa de paro</b>	11,05%	8,68%	13,15%

En la tabla 13 se presentan las tasas de ocupación y paro desagregadas según el tiempo que hace que las personas encuestadas terminaron sus estudios.

Vale la pena señalar que estos resultados son similares a los obtenidos en el estudio previo [RSME2007], incluso teniendo en cuenta la crisis. Este hecho es significativo, y muestra clara de la excelente preparación y adecuación del titulado/a en Matemáticas a su entorno laboral.

Las tasas de ocupación y paro desagregadas según el tiempo que hace que los encuestados terminaron sus estudios son similares a los obtenidos en el estudio previo [RSME2007], incluso teniendo en cuenta la crisis. Este hecho es significativo, y muestra clara de la excelente preparación y adecuación del titulado/a en matemáticas a su entorno laboral

Tabla 13. Tasas de actividad, empleo y paro (por antigüedad de la titulación)

	Total	Menos de 2 años	Entre 2 y 5 años	Entre 5 y 10 años	Más de 10 años
Tasa de actividad	87,7%	71,2%	92,8%	99,1%	99,5%
Tasa de empleo	81,1%	60,3%	87,0%	95,8%	96,3%
Tasa de paro	7,5%	15,3%	6,3%	3,3%	3,2%
Tasa de empleo [RSME2007] <sup>7</sup>	90,0%	69,1%	84,5%	95,5%	96,2%

La tasa de actividad aumenta, como era de esperar, con la edad, pero es llamativo que entre quienes hace menos de 2 años que han obtenido el título, trabajan el 60%, mientras que el 29% siguen estudiando y el 11% no tienen un empleo y tampoco estudian. Los datos permiten concluir que la incorporación de los matemáticos y las matemáticas al mercado laboral es un proceso muy rápido, pues al cabo de 2 años de obtener la titulación la tasa de paro es solo del 4,4% y la ocupación es casi plena (96,7%) después de 5 años.

La incorporación de los matemáticos y las matemáticas al mercado laboral es un proceso muy rápido, pues al cabo de 2 años de obtener la titulación la tasa de paro es solo del 4,4% y la ocupación es casi plena (96,7%) después de 5 años

La tasa de empleo en 2018 fue ligeramente superior a la de 2007, excepto entre quienes hacía menos de 2 años que se titularon. Posiblemente esto indique, por un lado, que los más jóvenes continúan ahora sus estudios con mayor frecuencia (quizá como consecuencia de la nueva estructura grado-máster) y, por otro, que en matemáticas se han recuperado los niveles de empleo previos a la crisis económica.

Ya hemos visto que la distribución de las tres categorías, Estudian-Trabajan-No tienen empleo y tampoco estudian, es prácticamente idéntica para mujeres y para hombres. Sin embargo, sí aparecen diferencias geográficas entre las tres categorías. Por ejemplo, entre CC. AA. con un número elevado de respuestas:

- Islas Canarias: 17%-68%-15%.
- Madrid: 5%-91%-4%.
- País Vasco: 21%-71%-8%.

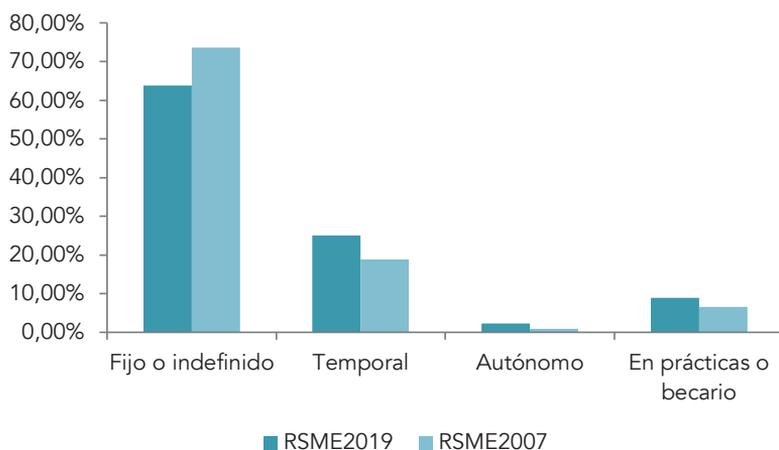
<sup>7</sup> En el estudio [RSME2007] se recogió únicamente el dato de si los encuestados/as trabajaban o no, por lo que no es posible calcular las otras tasas.

Excluyendo Ceuta y Melilla, las comunidades donde más proporción de encuestados siguen estudiando son Castilla-La Mancha (22%), País Vasco (21%), Extremadura (19%), Navarra (18%) y La Rioja (17%). El menor porcentaje se da en la Comunidad de Madrid (5%), Cantabria (5%), la Región de Murcia (7%) y Castilla y León (8%).

La menor proporción del personal encuestado que no estudia ni trabaja actualmente aparece en La Rioja (0%), Principado de Asturias (3%) y Madrid (4%). La mayor, en Navarra (21%), Islas Canarias (15%) y Castilla-La Mancha (13%).

Por tipo de contrato (figura 6), comparándolo también con los datos obtenidos en [RSME2007], los resultados han sido:

Figura 6. Tipo de contrato (entre los empleados)

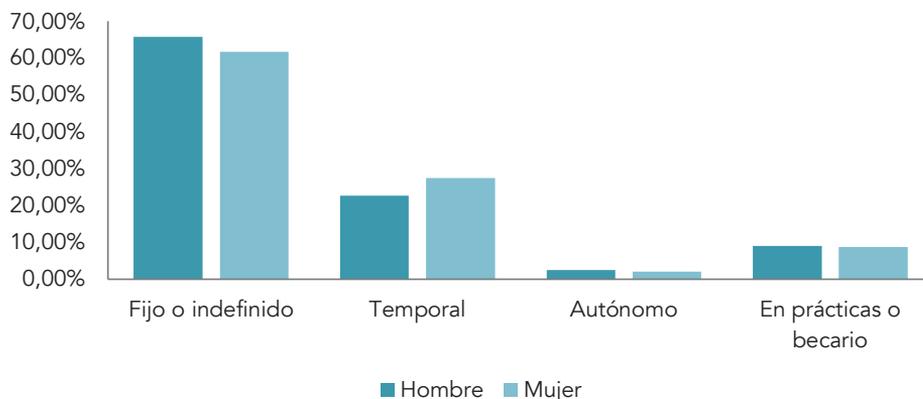


Como se ve, el 61,7% de las personas encuestadas tienen en la actualidad un contrato estable, frente a un 72,8% en [RSME2007]. En este apartado sí que se aprecia un empeoramiento de las condiciones laborales respecto al estudio anterior.

Se aprecia un empeoramiento de las condiciones laborales pues solo el 61,7% de las personas encuestadas tienen en la actualidad un contrato estable, frente a un 72,8% en [RSME2007]

Mirando los resultados por sexo (figura 7), aunque las diferencias no son grandes, sí se puede apreciar una mayor tasa de temporalidad para las mujeres.

Figura 7. Tipo de contrato (entre los empleados, por sexos)



Comparando con la población trabajadora española en general<sup>8</sup>, los datos de la EPA para el cuarto trimestre de 2018 daban una tasa de contratos indefinidos (a tiempo completo o parcial) entre las personas asalariadas del 73,3%, dato mejor que el global para nuestra muestra (63,8%). Sin embargo, observando las tablas 14 y 15, se constata que la precariedad se concentra en la parte más joven de las personas encuestadas para el presente estudio. En particular, poseen una beca o hacen prácticas el 19,2% de quienes hace menos de 2 años que se titularon y el 25,4% de los menores de 25 años, aunque esta tasa baja rápidamente.

No es tan rápida la estabilización, ya que el 25,1% de quienes hace entre 5 y 10 años que obtuvieron el título y el 33,8% de los que están entre 30 y 34 años de edad tienen contratos temporales (la tasa de temporalidad que nos proporciona la ya citada EPA del cuarto trimestre de 2018 para el conjunto de la población empleada es del 26,9%). El porcentaje de empleo fijo no supera el de la población en general hasta que se alcanzan los 10 años de antigüedad como titulado o los 35 años de edad. Además de las nuevas condiciones generales del mercado de trabajo (véase la comparación con [RSME2007]), se cree que en estos datos puede influir el peso en la muestra de las personas empleadas en

<sup>8</sup> No debe olvidarse al hacer comparaciones que, por cómo se ha concebido este estudio, en nuestra muestra hay una elevada proporción de personas jóvenes.

enseñanza universitaria y preuniversitaria, ámbitos donde el número de puestos interinos o de duración predeterminada es alto.

Tabla 14. Tipo de contrato (por antigüedad de la titulación)

	Menos de 2 años	Entre 2 y 5 años	Entre 5 y 10 años	Más de 10 años	Total
<b>Fijo o indefinido</b>	41,7%	56,9%	68,5%	92,0%	63,8%
<b>Temporal</b>	37,6%	29,9%	25,1%	6,0%	25%
<b>Autónomo</b>	1,5%	1,8%	4,4%	2,0%	2,3%
<b>En prácticas o becario</b>	19,2%	11,4%	2%	0,0%	8,9%
<b>Total</b>	100%	100%	100%	100%	100%

Tabla 15. Tipo de contrato (por edad)

	Menor de 25 años	Entre 25 y 29 años	Entre 30 y 34 años	Entre 35 y 39 años	40 años o más	Total
<b>Fijo o indefinido</b>	39,0%	53,5%	56,6%	73,9%	87,5%	61,6%
<b>Temporal</b>	29,6%	28,9%	33,8%	20,7%	7,1%	24,2%
<b>Autónomo</b>	2,1%	0,7%	4,2%	2,3%	2,8%	2,2%
<b>En prácticas o becario</b>	25,4%	12,2%	2,8%	1,4%	0,2%	8,6%
<b>Total</b>	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Por otra parte, la proporción de personas autónomas de nuestra muestra (2,2%) es considerablemente más baja que la nacional: los datos de afiliación a la Seguridad Social<sup>9</sup> revelan que un 17% de los afiliados y afiliadas lo están en el Régimen de Autónomos. Esto se puede entender como un reflejo del modelo de empleo de los profesionales de las matemáticas, mayoritariamente asalariados. En el posterior análisis de las actividades emprendedoras se examinará en parte este colectivo tan minoritario de especialistas en matemáticas que trabajan de manera autónoma.

Respecto a la cualificación que se tiene (tabla 16), llama la atención que poseen un mayor porcentaje de contratos fijos las personas encuestadas que no

<sup>9</sup><http://www.mitramiss.gob.es/es/estadisticas/resumenweb/RUD.pdf>

tienen máster o doctorado, mientras que la población de gente parada y precaria está altamente cualificada. Es posible que esto sea un reflejo de la gran dificultad para acceder a puestos fijos como personal investigador o docente, agravada por las bajas tasas de reposición que han primado durante varios años en las administraciones públicas.

Tabla 16. Tipo de contrato (por último título obtenido)

	% Diplomatura	% Licenciatura o Grado	% Máster	% Doctorado
<b>Fijo o indefinido</b>	82,1%	76,0%	54,6%	60,4%
<b>Temporal</b>	9,5%	13,5%	29,9%	35,4%
<b>Autónomo</b>	4,2%	3,1%	2,1%	1%
<b>En prácticas o con beca</b>	4,2%	7,3%	13,4%	3,1%
<b>Total</b>	100%	100%	100%	100%

Destaquemos, por último, que hay diferencias notables en cuanto a los tipos de contrato predominantes en las distintas CC. AA. La tabla 17 muestra los resultados para las siete desde las que se han recibido más de 100 encuestas.

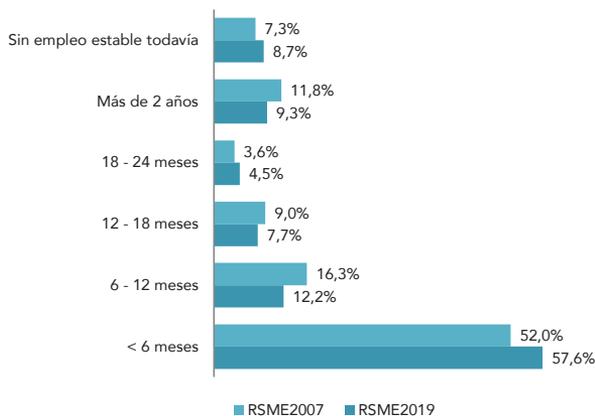
Tabla 17: Tipo de contrato (CC. AA. con más de 100 respuestas)

	Andalucía	Cataluña	Comunidad Valenciana	Galicia	Canarias	Madrid	País Vasco
<b>Fijo o indefinido</b>	62,9%	69,1%	65,6%	64,6%	42,6%	79,6%	41,7%
<b>Temporal</b>	22,7%	20,6%	23,7%	27,1%	33,0%	12,2%	42,7%
<b>Autónomo</b>	2,1%	2,1%	3,2%	0,0%	11,7%	1,0%	1%
<b>En prácticas o con beca</b>	12,4%	8,2%	7,5%	8,3%	12,8%	7,1%	14,6%
<b>Total</b>	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Cabe mencionar el alto grado de precariedad entre aquellas personas encuestadas en el País Vasco, que contrasta con la estabilidad en el empleo en Madrid. Merece también señalarse el elevado porcentaje (12,8%) de autónomos entre los encuestados en Canarias. A modo de comparación, los datos de la Seguridad Social para enero de 2019 dicen que la tasa de trabajadores y trabajadoras por cuenta propia en España es del 17,31%, con Madrid (12,58%) y Galicia (22,10%) en los extremos. Dicho asunto será tratado en el siguiente apartado.

En relación a la facilidad o dificultad para conseguir un empleo estable (figura 8) y comparando los resultados con el estudio anterior, los datos son los siguientes:

**Figura 8. Tiempo hasta contrato estable**



El 57,58% de las personas encuestadas declara haber obtenido un empleo estable en menos de 6 meses (52,0% en [RSME2007]). Al cabo de 2 años, el porcentaje es del 81,90% (80,9% en [RSME2007]).

El 57,58% de las personas encuestadas declara haber obtenido un empleo estable en menos de 6 meses. Al cabo de 2 años, el porcentaje es del 81,90%

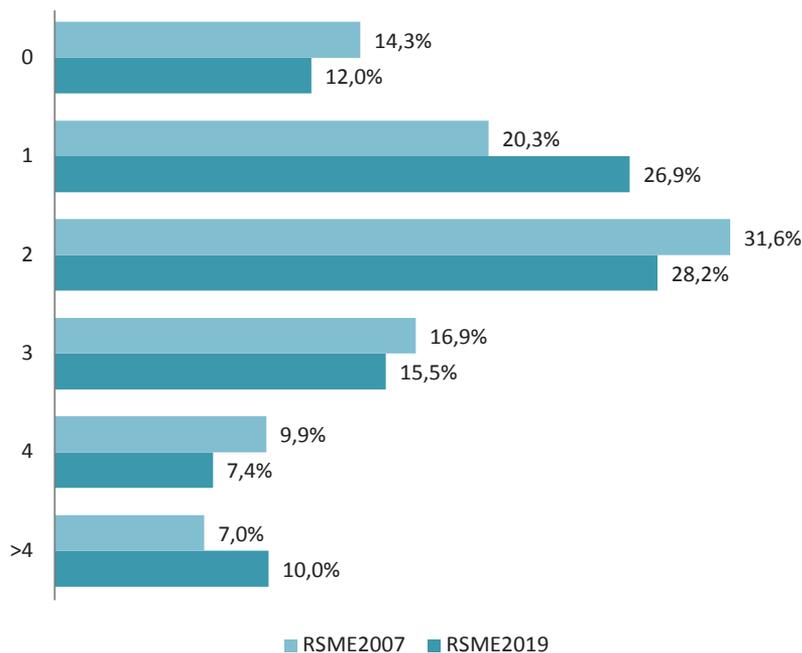
En este apartado sí que se detecta diferencia por sexos (tabla 18), aunque es menos acusada que en el estudio anterior.

**Tabla 18. Tiempo hasta contrato estable (por sexos)**

Tiempo hasta contrato estable	% Hombre	% Mujer	% Hombre [RSME2007]	% Mujer [RSME2007]
< 6 meses	62,0%	52,8%	57,5%	45,0%
6 - 12 meses	10,7%	13,8%	14,3%	18,7%
12 - 18 meses	6,9%	8,4%	10,4%	6,7%
18 - 24 meses	4%	5%	2,3%	5,3%
Más de 2 años	8,3%	10,5%	11,2%	13,4%
Sin empleo estable todavía	8%	9,5%	4,2%	11%
Total	100%	100%	100%	100%

También se ha analizado la estabilidad considerando el número de empleos que han tenido hasta ahora las personas encuestadas (figura 9):

Figura 9. Número de empleos



Con este parámetro, la diferencia por sexos no es tan perceptible (tabla 19) y, a grandes rasgos, los datos son similares a los del estudio anterior para ambos sexos.

Tabla 19: Número de empleos (por sexos)

Nº de empleos	% Hombre	% Mujer	% Hombre [RSME2007]	% Mujer [RSME2007]
0	10,8%	13,3%	11,6%	17,4%
1	27,8%	25,9%	21,4%	18,4%
2	29,3%	27%	30,4%	33,2%
3	14,5%	16,5%	17,9%	15,8%
4	6,4%	8,5%	12,1%	8,4%
>4	11,2%	8,7%	6,7%	6,8%
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

Por último, algunas observaciones con respecto a la facilidad o dificultad para encontrar empleo serían las siguientes:

- Los matemáticos y matemáticas más recientes han conseguido un empleo estable antes que aquellos que obtuvieron el título hace 10 años. La dificultad para estabilizarse aumenta siempre en la encuesta al incrementar el tiempo transcurrido desde la obtención de la titulación, reflejo probablemente del actual auge de las matemáticas.
- A los egresados y las egresadas recientes les ha llevado menos tiempo encontrar el primer empleo (menos de 6 meses al 71% de quienes terminaron hace menos de dos años y al 62% de quienes finalizaron sus estudios hace entre 2 y 5 años) si se compara con el personal egresado más antiguo (el 49% de entre aquellas personas tituladas hace entre cinco y diez años y el 45% de las de hace más de diez años, encontraron el primer empleo en menos de 6 meses).
- El 20% de los egresados y las egresadas hace más de 10 años tardaron más de 2 años en encontrar el primer empleo estable.
- De las personas que tardan más de 2 años en encontrar su primer empleo estable, el 25% trabajan en la Administración pública, un 27% lo hacen en un centro de enseñanza preuniversitaria y un 29%, en la universidad.
- Respecto a la distribución geográfica, el 78% de las personas encuestadas catalanas encuentran trabajo estable antes de 6 meses frente a solo el 41% de las andaluzas. El resto de CC. AA. se encuentran entre las dos anteriores, situándose el porcentaje total para España entorno a un 58%.
- Del 58% de las personas que encuentran trabajo estable en menos de 6 meses, el 29% reside en Madrid.
- Comparando los resultados por CC. AA., entre las personas que contestan que encuentran su primer empleo estable en menos de seis meses, Cataluña y Madrid tienen los porcentajes más elevados y casi ninguna tarda más de dos años. En cambio, en Aragón, Cantabria, Castilla-La Mancha, Extremadura y Región de Murcia, más del 18% de la población tarda más de 2 años en encontrar el primer empleo estable.
- El 70% de las personas encuestadas que trabajan en el extranjero tardó menos de 6 meses en encontrar empleo estable, pero un 11% aún no lo tiene.

A los egresados y las egresadas recientes les ha llevado menos tiempo encontrar el primer empleo. La dificultad para estabilizarse aumenta siempre en la encuesta al incrementar el tiempo transcurrido desde la obtención de la titulación, reflejo probablemente del actual auge de las matemáticas. Los matemáticos y matemáticas más recientes han conseguido un empleo estable antes que aquellos que obtuvieron el título hace 10 años.

### 3.3. Iniciativa emprendedora

La proporción de autónomos entre las personas encuestadas, recogida en la figura 6, es del 2,19%. Si bien ha subido con respecto al dato obtenido en [RSME2007], cuando era solo el 0,90%, es considerablemente más baja que la que corresponde al total de la población activa en España, que es del 15,9%,<sup>10</sup>. Estos datos pueden ser entendidos como un reflejo del modelo de empleo predominante entre la comunidad matemática, compuesta en su mayoría por miembros asalariados.

Del análisis de las explicaciones sobre las actividades emprendedoras que han proporcionado los encuestados, cabe destacar que:

- El 43% de las 156 personas que han manifestado realizar actividades de este tipo tienen más de 40 años, aunque esa franja de edad supone solo el 20% del total de la muestra.
- La mitad de la actividad emprendedora se realiza en academias o en tareas de consultoría.
- Las empresas emergentes o *startups* relacionadas con las matemáticas las crean en gran medida tanto las personas recién tituladas como las más antiguas: el 32% se titularon hace menos de 2 años y otro 32% hace más de 10. Este dato es consistente con el análisis por edades: el 40% de quienes crean una *startup* tienen entre 25 y 29 años y un 36%, más de 40.
- Por otro lado, realizan tareas autónomas de consultoría sobre todo las personas recién tituladas: el 65% de quienes se enmarcan en esta categoría hace menos de 5 años que se titularon.
- En las academias trabajan más quienes tienen una antigüedad intermedia: 40% obtuvieron su título hace entre 5 y 10 años.

---

<sup>10</sup> <http://www.mitramiss.gob.es/es/estadisticas/resumenweb/RUD.pdf>

- El 64% de quienes trabajan en actividades emprendedoras no relacionadas con matemáticas hace más de 5 años que se titularon.
- Por sexos, el dato más notable es la mayor presencia de mujeres en academias: el 37% de las mujeres que declaran alguna actividad emprendedora la realizan en academias, frente al 21% de los hombres.

### 3.4. Campos de trabajo

Tanto en este apartado como en los sucesivos se debe tomar en cuenta, a la hora de comparar con el estudio anterior respecto a los tipos de empresa donde trabajan los encuestados, que la clasificación no es la misma. En [RSME2007] figuraba una categoría, “Centros Docentes”, que ahora no está. Por el contrario, han aparecido tres categorías nuevas, “Centro de enseñanza preuniversitaria”, “Universidad” y “Centro de investigación”. Esta última ha sido incluida por el peso que tienen los centros creados en los últimos años, aunque este tipo de empleos ya existiera. Sin embargo, se ha considerado más adecuado no comparar estas tres categorías con la antigua de “Centros Docentes”. También hay una cuarta categoría nueva, “Gestoría”, pero no ha resultado tan relevante como las otras tres.

Con esta cautela, en la tabla 20 se recogen las respuestas literales recibidas en las encuestas.

Tabla 20. Empleo por tipo de empresa

	Número	Porcentaje	Porcentaje [RSME2007]
Administración Pública	233	10,4%	14,2%
Bancos / Cajas / Finanzas	174	7,8%	15,2%
Ciencia / Tecnología	92	4,1%	4,3%
Consultoría	350	15,6%	6,2%
Editorial	6	0,3%	0,5%
Farmacéutica / Médica	15	0,7%	0,9%
Gestoría	4	0,2%	
Industria	62	2,8%	1,9%
Informática	150	6,7%	8,1%
Servicios	47	2,1%	3,8%
Telecomunicaciones	19	0,8%	0,9%

Telefonía / Internet	11	0,5%	0%
Centro de enseñanza preuniversitaria	360	16,1%	
Universidad	481	21,5%	
Centro de investigación	138	6,2%	
Centro Docente			36,5%
Otras	95	4,2%	7,6%
<b>Total</b>	<b>2.237</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

Con el fin de simplificar el análisis de la información, hemos agrupado los tipos de empresa en los siguientes campos de actividad:

Campos de actividad	Tipos de empresa en este estudio	Tipos de empresa en [RSME2007]
<b>Administración pública</b>	Administración pública	Administración pública
<b>Bancos / Finanzas</b>	Bancos / Cajas / Finanzas	Bancos / Cajas / Finanzas
<b>Ciencia / Tecnología / Industria</b>	Ciencia / Tecnología	Ciencia / Tecnología
	Farmacéutica / Médica	Farmacéutica / Médica
<b>Consultoría</b>	Industria	Industria
	Consultoría	Consultoría
<b>Informática/Telecomunicaciones</b>	Informática	Informática
	Telecomunicaciones	Telecomunicaciones
<b>Enseñanza preuniversitaria</b>	Telefonía / Internet	Telefonía / Internet
	Centro de enseñanza preuniversitaria	
<b>Universidad / Investigación</b>	Universidad	
	Centro de investigación	
<b>Centro docente</b>		Centro docente
<b>Otras</b>	Editorial	Editorial
	Gestoría	
	Servicios	Servicios
	Otras	Otras

Con esta agrupación, e incorporando ahora los datos por sexo, tenemos (tabla 21):

Tabla 21. Empleo por campo de actividad y sexo

	% Total	% Hombre	% Mujer	% Total [RSME2007]	% Hombre [RSME2007]	% Mujer [RSME2007]
Administración Pública	10,4%	8,2%	12,8%	14,5%	14,7%	14,2%
Bancos / Finanzas	7,8%	7,9%	7,6%	16,4%	17,4%	15,2%
Ciencia / Tecnología / Industria	7,6%	8,9%	6,1%	7,2%	7,3%	7,1%
Consultoría	15,6%	15,9%	15,4%	6,4%	6,6%	6,2%
Informática / Telecomunicaciones	8%	10,4%	5,6%	8,3%	7,7%	9,0%
Enseñanza preuniversitaria	16,1%	13%	19,4%			
Universidad / Investigación	27,7%	30,5%	24,6%			
Centro docente				38,7%	40,5%	36,5%
Otras	6,8%	5,2%	8,5%	8,5%	5,8%	11,8%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%

De la tabla 21 se deduce que los campos que más personas encuestadas ocupan (no debe olvidarse el modo en que se ha seleccionado la muestra) son la ‘Universidad/Investigación’ (27,7%), la ‘Enseñanza preuniversitaria’ (16,1%) y la ‘Consultoría’ (15,6%).

Comparando con [RSME2007], ha caído notablemente el porcentaje de quienes declaran trabajar en ‘Banca / Finanzas’: 7,8% frente a 16,4% en el estudio anterior. También baja apreciablemente el peso que supone la ‘Administración pública’, que se sitúa en un 10,4%, frente a un 14,5% en [RSME2007]. Por el contrario, el empleo en ‘Consultoría’ (15,6%) se ha más que duplicado (era 6,4% en [RSME2007]). Los datos en los campos restantes se mantienen aproximadamente iguales al estudio anterior, si bien, ahora se puede tener una imagen más fiel del peso de las enseñanzas preuniversitarias y universitarias en el empleo de los matemáticos y matemáticas. Tomados conjuntamente, los dos campos de actividad con componente docente ocupan a un tercio de las personas encuestadas.

Ha caído notablemente el porcentaje de quienes declaran trabajar ‘Banca / Finanzas’ y también, pero en menor medida, los que lo hacen en ‘Administración pública’. Por el contrario, el empleo en ‘Consultoría’ se ha más que duplicado. La actividad en campos con componente docente ocupan a un tercio de las personas encuestadas

Si se desagregan los datos por sexo, se observa que la presencia de los hombres es mayor en actividades relacionadas con ‘Informática/Telecomunicaciones’ y ‘Universidad/Investigación’, mientras que las mujeres tienen más peso en la ‘Administración pública’ y la ‘Enseñanza preuniversitaria’ (además de en la categoría ‘Otras’). No se aprecian grandes diferencias por sexo en cuanto al empleo en ‘Bancos/Finanzas’, ‘Ciencia/Tecnología/Industria’ y ‘Consultoría’. A grandes rasgos, la distribución por campos de ambos sexos era algo más equilibrada en [RSME2007].

Respecto a la relación entre antigüedad (tiempo tras la obtención del título) y campo de trabajo, resulta revelador que solo un 14% de las personas cuya antigüedad es de entre 5 y 10 años afirman trabajar en la universidad, frente al 27% de las que terminaron hace más de 10 años o el 22% del total. Dichas personas se incorporaron al mercado laboral coincidiendo con la época más dura de la crisis económica, en la que la universidad española sufrió graves recortes.

Hay otros ámbitos de actividad donde se perciben diferencias en función de la antigüedad. Escribiendo la serie “más de 10 años desde la obtención del título-entre 5 y 10 años-entre 2 y 5 años-menos de 2 años”, encontramos:

- Administración Pública: 19%-13%-8%-4%.
- Enseñanza preuniversitaria: 21%-22%-15%-9%.
- Consultoría: 7%-16%-19%-20%.

En los dos primeros casos suele ser necesaria una oposición; es lógico que el personal titulado de menos de dos años no haya tenido todavía ocasión de acceder a estos trabajos.

El análisis por distribución geográfica resulta bastante revelador:

- Aunque solo el 16% del total de las personas encuestadas trabajan en centros de educación preuniversitaria, este porcentaje aumenta considerablemente en Islas Baleares (44%), Región de Murcia (43%), Islas Canarias (40%) o Extremadura (38%), mientras que en la Comunidad de Madrid o en Cataluña se reduce al 6%.

- Si sumamos a los anteriores las que trabajan en universidad, Ceuta y Melilla (67%), Islas Baleares (64%), Región de Murcia (64%), Aragón (59%), La Rioja (58%) o Extremadura (57%), superan ampliamente el 32% de la media, sin embargo, solo son el 20% en Cataluña o el 21% en la Comunidad de Madrid.
- En estas dos últimas comunidades, el peso del empleo está en ‘Consultorías y Bancos’, ‘Cajas y Finanzas’. Esta distribución geográfica coincide con la mayor concentración de empresas de estos sectores en esas regiones.

La tabla 22 recoge las respuestas a la pregunta “Describa su actividad principal en la empresa”, de respuesta múltiple. Los porcentajes que se muestran son sobre el número de hombres y mujeres encuestados (por eso suman más del 100%).

Tabla 22. Tipo de actividad en la empresa

	Total	Hombre	Mujer	% Total	% Hombre	% Mujer
<b>A: administrativo</b>	41	17	24	1,83%	1,46%	2,23%
<b>C: comercial</b>	47	30	17	2,10%	2,58%	1,58%
<b>DI: directivo</b>	135	92	43	6,03%	7,92%	4%
<b>G: gestor</b>	221	136	85	9,87%	11,70%	7,90%
<b>T: técnico</b>	794	443	351	35,48%	38,12%	32,62%
<b>I: investigador</b>	740	430	310	33,07%	37,01%	28,81%
<b>DO: docente</b>	950	454	496	42,45%	39,07%	46,10%
<b>OT: otro</b>	127	48	79	5,67%	4,13%	7,34%
<b>Total</b>	3.055	1.650	1.405	136,51%	142,00%	130,58%

Como se ve, la actividad que con más frecuencia dicen realizar las personas encuestadas es la de ‘Docente’, la mencionan el 42,5% de ellos (recordemos, tabla 20, que el 37,6% trabajan en enseñanza preuniversitaria o universidad, porcentaje que sube al 43,8% si sumamos los centros de investigación). Las siguientes actividades más frecuentes son las de ‘Técnico’ (35,5%) e ‘Investigador’ (33,1%).

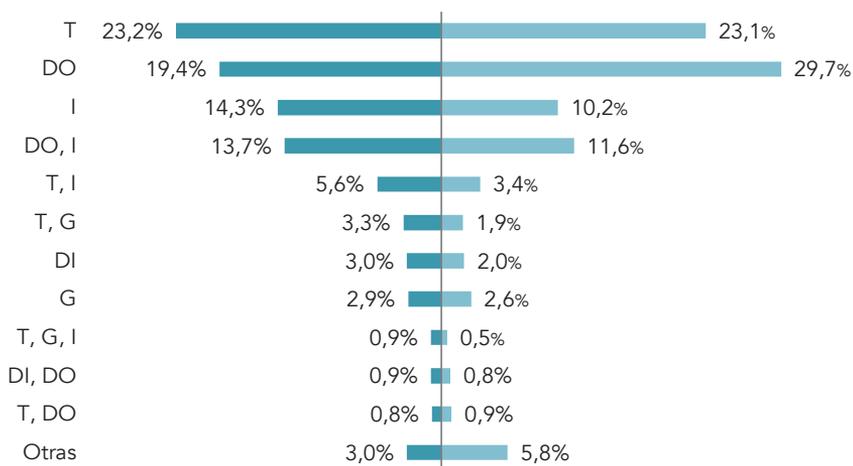
A la vista del elevado número de respuestas múltiples, se recogen en la tabla 23 las distintas combinaciones que han aparecido (las claves son las de la tabla 22). Se presentan por separado las que han alcanzado una frecuencia de respuesta igual o superior a 15, agrupando todas las demás bajo el epígrafe “Otras”.

Tabla 23. Tipo de actividades en la empresa, agrupando respuestas múltiples

DO	T	DO, I	I	T, I	G	T, G	DI	DI, DO	T, DO	T, G, I	Otras	Total
24,40%	23,20%	12,70%	12,30%	4,60%	2,80%	2,60%	2,50%	0,80%	0,80%	0,70%	4,30%	100%

El análisis por sexo (figura 10) muestra una clara preponderancia de tareas docentes entre las mujeres y paridad entre los sexos en las tareas puramente técnicas. Los hombres predominan en todas las labores que tienen un componente de gestión, dirección o investigación, con la única excepción de la dirección combinada con la docencia (muy probablemente cargos directivos en centros educativos).

Figura 10. Tipo de actividades en la empresa (por sexos), agrupando respuestas múltiples



Nota: A la izquierda se representan los datos de hombres y a la derecha de mujeres.

La encuesta incluía la pregunta de respuesta abierta “Otras actividades de su empresa”. Se han clasificado las respuestas y los resultados obtenidos se muestran en la figura 11.

Figura 11. Otras actividades de la empresa



Al analizar esta pregunta según la antigüedad de la obtención del título, edad y sexo no existen diferencias entre los diferentes grupos, mostrando porcentajes similares a los generales. La única excepción son los mayores de 35 años, entre los que 'Tecnología, Biotecnología' ocupa el segundo lugar como otra actividad de la empresa, pasando 'Ciencia de datos, *Software*, Desarrollo' al tercero.

Mirando las respuestas a esta pregunta por comunidades autónomas (y considerando solo aquellas en las que se han obtenido más de 20 respuestas), aparece 'Auditoría, Consultoría, Finanzas, *Marketing*' como primera opción en Andalucía (23%), Cataluña (35%) y la Comunidad de Madrid (41%). 'Ciencia de datos, *Software*, Desarrollo' es la primera opción en la Comunidad Valenciana (30%), destacando sobre las restantes, mientras que 'Tecnología, Biotecnología' lo es para los que viven en Galicia (27%), País Vasco (24%) y en el extranjero (28%).

Por último, las cifras muestran que en la gran mayoría de las empresas (77,5%, frente al 78,2% en [RSME2007]), el personal empleado trabaja en un ambiente en el que hay presencia de más personas tituladas en Matemáticas. Este dato no toma en consideración los centros de enseñanza preuniversitaria ni las universidades, ámbitos donde muy raramente los matemáticos y matemáticas se encuentran en una posición de aislamiento. Si incluimos los dos tipos de centros educativos, el porcentaje sube al 83,6%.

### 3.5. Salarios

Hemos realizado un estudio del salario del personal encuestado discriminando por sexos, antigüedad y por la actividad empresarial.

La tabla 24 muestra que la mediana de las distintas franjas de sueldo se encuentra en los 24.000 euros – 29.999 euros. El 20,1% de la muestra percibe sueldos bajos (menos de 18.000 euros), el 52,6% recibe sueldos medios (entre 18.000 euros y 35.999 euros), y el 27,3%, sueldos altos (36.000 euros o más).

Atendiendo a la distinción de sexos, observamos un menor porcentaje de sueldos altos entre las mujeres: para ellas la distribución en las tres categorías (sueldos bajos-medios-altos) es 21,7% - 56,1% - 22,2%, mientras que los hombres presentan una distribución 18,7% - 49,5% - 31,8%. Esto está en estrecha relación con la observación de la tabla 22 en la que se constataba un menor porcentaje de mujeres en puestos directivos y de gestión.

Tabla 24. Sueldo (por sexos)

	Total	Hombre	Mujer	% Total	% Hombre	% Mujer
Hasta 5.999 euros	73	35	38	3,3%	3%	3,6%
De 6.000 euros a 11.999 euros	75	25	50	3,4%	2,2%	4,8%
De 12.000 euros a 17.999 euros	294	156	138	13,4%	13,5%	13,2%
De 18.000 euros a 23.999 euros	343	168	175	15,6%	14,6%	16,8%
De 24.000 euros a 29.999 euros	433	215	218	19,7%	18,6%	20,9%
De 30.000 euros a 35.999 euros	381	189	192	17,3%	16,4%	18,4%
De 36.000 euros a 59.999 euros	444	258	186	20,2%	22,3%	17,8%
60.000 euros o más	155	109	46	7,1%	9,4%	4,4%
<b>Total</b>	<b>2.198</b>	<b>1.155</b>	<b>1.043</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

La tabla 25 desglosa los distintos salarios en función de la antigüedad de la titulación. Observamos en la misma que la mayoría (60%) de quienes cuentan con menos de 2 años de antigüedad en la titulación cobran hasta 23.999 euros, con un 36% en el rango que hemos llamado sueldos bajos. Entre los 2 y 5 años como titulados la mediana se sitúa ya en la franja 24.000 euros - 29.999 euros y el 60% reciben lo que hemos llamado un sueldo medio. Entre 5 y 10 la mediana sube a 30.000 euros – 35.999 euros, y la distribución en las tres categorías de sueldos es: bajo: 10%, medio: 54%, alto: 34%. A partir de los 10 años, el 56% de las personas encuestadas declaran percibir una remuneración superior a los 36.000 euros, con un 16% que tienen un salario superior a los 60.000 euros anuales.

Tabla 25. Sueldo (por antigüedad)

	Menos de 2 años	Entre 2 y 5 años	Entre 5 y 10 años	Más de 10 años	Total
Hasta 5.999 euros	8%	3%	0%	1%	3%
De 6.000 euros a 11.999 euros	7%	4%	1%	1%	3%
De 12.000 euros a 17.999 euros	21%	18%	9%	3%	13%
De 18.000 euros a 23.999 euros	24%	18%	15%	4%	16%
De 24.000 euros a 29.999 euros	21%	23%	23%	12%	20%
De 30.000 euros a 35.999 euros	10%	19%	16%	24%	17%
De 36.000 euros a 59.999 euros	7%	12%	26%	40%	20%
60.000 euros o más	2%	4%	8%	16%	7%
<b>Total</b>	100%	100%	100%	100%	100%

Las tablas 26 y 27 recogen los salarios en función del campo de actividad de la empresa, tal y como se definieron en el apartado 6, y de la antigüedad en la titulación. En la tabla 26 aparecen todos los campos de actividad, mientras que en la tabla 27 se excluyen los centros de enseñanza, ya que en ellos los salarios están muy reglados, sin que el campo de formación de la persona influya en el nivel de ingresos.

Tabla 26. Sueldo (según el campo de actividad de las empresas)

	AP	BF	CTI	C	IT	EP	UI	O
Hasta 5.999 euros	0%	0,0%	4,2%	1,7%	2,8%	4,0%	2,3%	18,6%
De 6.000 euros a 11.999 euros	2,7%	3%	3,6%	2,3%	3,4%	4,9%	2,5%	7,9%
De 12.000 euros a 17.999 euros	7,1%	1,8%	8,4%	9,3%	10,2%	9,5%	26,9%	8,6%
De 18.000 euros a 23.999 euros	12,4%	7,1%	15,1%	26,7%	17%	13,3%	15,3%	8,6%
De 24.000 euros a 29.999 euros	26,7%	14,2%	10,8%	22%	19,3%	32,7%	13,8%	15%
De 30.000 euros a 35.999 euros	29,3%	19,5%	13,9%	13,9%	14,2%	26,6%	11,5%	13,6%
De 36.000 euros a 59.999 euros	20,9%	36,1%	27,1%	18%	20,5%	8,1%	21,3%	24,3%
60.000 euros o más	0,9%	18,3%	16,9%	6,1%	12,5%	0,9%	6,4%	3,6%
<b>Total</b>	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

AP: Administración pública, BF: Bancos / Finanzas, CTI: Ciencia / Tecnología / Industria, C: Consultoría, IT: Informática / Telecomunicaciones, EP: Enseñanza preuniversitaria, UI: Universidad / Investigación y O: Otras.

Tabla 27. Sueldo (por antigüedad de la titulación, excluyendo centros de enseñanza preuniversitaria y universidades)

	Menos de 2 años	Entre 2 y 5 años	Entre 5 y 10 años	Más de 10 años	Total
Hasta 5.999 euros	9%	2%	0%	1%	4%
De 6.000 euros a 11.999 euros	6%	4%	1%	1%	4%
De 12.000 euros a 17.999 euros	16%	9%	6%	3%	9%
De 18.000 euros a 23.999 euros	27%	18%	14%	5%	17%
De 24.000 euros a 29.999 euros	22%	23%	19%	10%	19%
De 30.000 euros a 35.999 euros	10%	21%	14%	23%	17%
De 36.000 euros a 59.999 euros	8%	18%	34%	38%	22%
60.000 euros o más	2%	6%	11%	20%	8%
<b>Total</b>	100%	100%	100%	100%	100%

Observamos que, si analizamos los resultados fuera del ámbito docente, los datos anteriores se acentúan ligeramente por un transvase de los sueldos bajos a los altos: la distribución de las tres grandes categorías de salarios pasa a ser bajos: 17% (20,1% globalmente), medios: 53% (frente al 52,6%) y altos: 30% (27,3% en el total de la muestra).

Esto es consistente con el hecho de que en los centros de enseñanza es donde se da un mayor porcentaje de salarios bajo (27%), seguido de la ‘Informática’ (18%) y ‘Ciencia/Tecnología/Industria’ (17%). Por otra parte, estas dos últimas categorías son la tercera y la segunda con más proporción de sueldos altos: ‘Informática’ (32%), ‘Ciencia/Tecnología/Industria’ (43%). El campo donde los salarios altos son más frecuentes es ‘Banca/Cajas/Finanzas’ (54%).

La tabla 27 muestra también que, fuera de los centros de enseñanza, los salarios tienden a alcanzar valores medio-altos con cierta rapidez: entre 2 y 5 años después de la titulación, el 45% de la muestra declara ingresar más de 30.000 euros anuales. Entre quienes terminaron la carrera hace entre 5 y 10 años, ese porcentaje llega al 59% y entre quienes superan los 10 años como titulados es más del 81%.

Los salarios en puestos fuera de los centros de enseñanza tienden a alcanzar valores medio-altos con cierta rapidez: entre 2 y 5 años después de la titulación

A continuación se destacan algunos datos referidos a la distribución de sueldos en las CC. AA:

- La Comunidad de Madrid presenta el porcentaje mayor en franjas altas de sueldo. El 43% de las personas encuestadas que trabajan en Madrid reciben salarios de 36.000 euros o más. Además, residen en Madrid el 40% de quienes tienen sueldos entre los 36.000 euros y los 59.999 euros, y el 34% de quienes superan los 60.000 euros, a pesar de ser residentes en Madrid solo el 24% de quienes han dado el dato de ingresos. En Aragón, el 42% declaran sueldos superiores a los 36.000 euros, pero su peso en la muestra total es bajo.
- Los sueldos más bajos se dan en las Islas Canarias y la Región de Murcia. El 21% de los encuestados canarios y el 15% de los murcianos reciben salarios inferiores a los 12.000 euros.
- En Castilla-La Mancha hay una gran concentración de sueldos medios (con pocas respuestas): 8 de las 17 personas encuestadas en esa comunidad (44%) están entre 24.000 euros y 29.999 euros. Probablemente esté relacionado con los ámbitos de empleo: 4 de los 17 en Administraciones públicas, 3 en centros de enseñanza preuniversitaria y 3 en universidades.
- Quienes residen en el extranjero tienen sueldos sensiblemente más altos que los residentes en España: 52% están por encima de los 36.000 euros y, siendo solo el 7% de quienes responden a esta pregunta, entre ellos está el 28% de quienes superan los 60.000 euros

### 3.6. Formación y actividad laboral

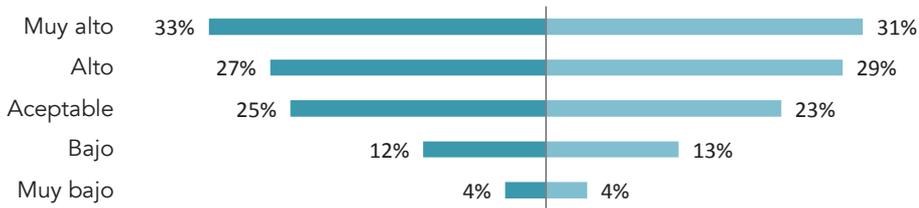
Las personas tituladas en Matemáticas manifiestan un grado de satisfacción elevado acerca de su preparación académica y su adecuación al mundo laboral. La tabla 28 y la figura 12 muestran la percepción que tienen las personas encuestadas sobre la correlación entre ambas. Como se puede ver, dicha correlación es elevada, sin que se perciban diferencias significativas en función del sexo y, además, ha mejorado notablemente respecto al estudio anterior: 60% dicen que la correlación es alta o muy alta (52% en [RSME2007]), frente al 16% que la describen como baja o muy baja (22% en [RSME2007], donde no se distinguía entre estas dos categorías).

Las personas tituladas en Matemáticas manifiestan un grado de satisfacción elevado acerca de su preparación académica y su adecuación al mundo laboral

**Tabla 28. Correlación entre actividad laboral y preparación académica**

	% Total	% Total [RSME2007]
<b>Muy alto</b>	32%	30%
<b>Alto</b>	28%	22%
<b>Aceptable</b>	24%	26%
<b>Bajo</b>	12%	22%
<b>Muy bajo</b>	4%	
<b>Total</b>	100%	100%

**Figura 12. Correlación entre actividad laboral y preparación académica (por sexos)**



Nota: A la izquierda se representa los datos de hombres y a la derecha de mujeres.

La tabla 29 corresponde a la pregunta de si “La formación como matemático/a le distingue en su quehacer diario con respecto a otros/as titulados/as”, a lo que un 94% (97% en el estudio anterior) responde que se encuentran, al menos, en igualdad de condiciones, y un 71% opinan que sí, de manera favorable o muy favorable (51% en el estudio anterior, donde no se diferenciaban estas dos categorías). Obsérvese que en el estudio anterior, el 46% consideraban que su formación no los distinguía de otros titulados, porcentaje que ahora ha bajado a la mitad (23%). Estos datos confirman que la titulación de Matemáticas es competitiva, incluso allí donde existen otros estudios con un, a priori, mayor grado de afinidad en relación a las actividades empresariales.

Tabla 29. La formación como matemático/a le distingue con respecto a otros/as titulados/as

	Porcentaje	Porcentaje [RSME2007]
Desfavorablemente <sup>11</sup>	6%	3%
No hay diferencia	23%	46%
Favorablemente	40%	51%
Muy favorablemente <sup>12</sup>	31%	
Total	100%	100%

Los resultados son positivos en prácticamente todos los ámbitos de actividad. La suma ‘Favorable’ y ‘Muy Favorable’ es especialmente alta en ‘Banca/Finanzas’ (88%), ‘Farmacia/Médica’ (80%) e ‘Industria’ (77%). Solo en tres campos, todos con muy pocas respuestas, este valor está por debajo del 60%: ‘Gestoría’ (33%, con 3 respuestas), ‘Editorial’ (50%, con 6 respuestas) y ‘Telefonía/Internet’ (55%, con 11 respuestas), si bien en esta última categoría el resto de encuestados y encuestadas opta por ‘No hay diferencia’. Aparte de ‘Gestoría y Editorial’ (33% en cada caso), la opción ‘Desfavorable’ solo supera el 8% en ‘Servicios’ (17%) y ‘Otras’ (13%).

A quienes consideraban que su formación como matemático o matemática les distinguía positivamente en su quehacer laboral, se les pidió que dijese en qué aspectos. Las respuestas, abiertas, se clasificaron en las categorías que se recogen en la tabla 30.

Tabla 30. Aspectos en los que la formación como matemático/a le distingue con respecto a otros/as titulados/as

	Porcentaje
Capacidad para el razonamiento lógico, la abstracción y la generalización	27%
Capacidad para el análisis, la resolución de problemas, modelización y optimización	22%
Conocimientos específicos	17%
Conocimientos más adecuados para la docencia en matemáticas	11%
Capacidad de aprendizaje y adaptación	9%
Capacidad de organización y gestión eficiente	9%
Otros	5%
Total	100%

<sup>11</sup> Se han aunado las respuestas ‘Muy desfavorable’ y ‘Desfavorable’ en ‘Desfavorablemente’.

<sup>12</sup> Esta categoría no se consideraba en [RSME2007].

- Contar con “Conocimientos más adecuados para la enseñanza de las matemáticas” es señalado como distintivo por el 50% de quienes trabajan en la educación no universitaria, pero también por el 10% de quienes lo hacen en una universidad (quizá porque están en centros donde hay personas con otra formación dando clase de Matemáticas) y por el 20% de quienes trabajan en la Administración pública (no se ha encontrado una explicación clara para este último dato).
- Es reseñable que los conocimientos específicos no suponen la mayor diferencia para quienes trabajan en universidades, ya que lo eligen el 18%, por debajo de la “Capacidad para el razonamiento lógico, la abstracción y la generalización”(24%) o la “Capacidad para el análisis, la resolución de problemas, modelización y optimización” (20%). Quienes consideran los conocimientos específicos como el aspecto que más les distingue del resto de titulados/as (37%) son las personas encuestadas que trabajan en ‘Ciencia/Tecnología’.
- Los sectores donde más se valora la “Capacidad para el razonamiento lógico, la abstracción y la generalización” son ‘Telecomunicaciones’ (63%) ‘Farmacéutica/Médica’ (40%) y ‘Consultoría’ (39%). La “Capacidad para el análisis, la resolución de problemas, modelización y optimización” es especialmente valorada en ‘Editorial’ (50%), ‘Informática’ (33%), ‘Telefonía/Internet’ (33%) y ‘Centros de Investigación’ (30%).
- La “Capacidad de aprendizaje y adaptación” es considerada la mayor diferencia aportada por la formación matemática por el 67% de quienes trabajan en ‘Telefonía/Internet’.
- Por sexo, solo se encuentran diferencias significativas en el porcentaje de quienes contestan que lo que más les distingue es la “Capacidad para el análisis, la resolución de problemas, modelización y optimización”: un 26% para los hombres, frente a un 17% para las mujeres.

En la tabla 31 se recoge la comparación que hacen las personas encuestadas entre la dificultad de su actividad laboral y la de los estudios realizados. La mayoría opina que estos son de un orden de dificultad superior a la labor realizada en sus puestos de trabajo. Los resultados obtenidos son similares a los del estudio anterior.

Tabla 31. Dificultad de la actividad laboral en relación a los estudios

	% Total	% Hombre	% Mujer	% Total [RSME2007]
Más sencilla que los estudios universitarios	39%	37%	42%	38%
De complejidad similar a los estudios universitarios	20%	22%	18%	21%
Más difícil que los estudios universitarios	14%	17%	10%	13%
No son comparables	28%	25%	31%	28%
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	

En este caso, hay diferencia entre sexos: son más los hombres que piensan que es más difícil el trabajo que la carrera y más las mujeres que opinan lo contrario. Para un mejor análisis, recogemos en la tabla 32 la diferencia entre el porcentaje de hombres y el porcentaje de mujeres que, en cada campo de trabajo de los definidos en el apartado 6, dan una determinada valoración de la complejidad relativa a su actividad laboral respecto a los estudios universitarios. Los signos positivos reflejan un mayor porcentaje de hombres, los negativos, un mayor porcentaje de mujeres.

Tabla 32. Diferencia entre el porcentaje de hombres y el de mujeres (% Hombre-% Mujer) en cuanto a la dificultad de la actividad laboral en relación a los estudios por campos de actividad de la empresa

	AP	BF	CTI	C	IT	EP	UI	O	Total
Más sencilla que los estudios universitarios	3,7%	-15,2%	-16,2%	3,4%	-2,1%	-3,2%	-5,2%	-5,2%	-5,6%
De complejidad similar a los estudios universitarios	8%	1,9%	15,2%	4,1%	-6,2%	2,4%	-3%	4,1%	4,1%
Más difícil que los estudios universitarios	0,2%	6,2%	5%	4,8%	-0,7%	3,9%	12,6%	5,7%	7,5%
No son comparables	-11,9%	7,1%	-4%	-12,3%	9,1%	-3,1%	-4,5%	-4,6%	-6,1%

Nota: AP: Administración pública, BF: Bancos / Finanzas, CTI: Ciencia / Tecnología / Industria, C: Consultoría, IT: Informática / Telecomunicaciones, EP: Enseñanza preuniversitaria, UI: Universidad / Investigación y O: Otras.

Los datos más relevantes que podemos extraer de la tabla 32 son:

- Entre quienes trabajan en ‘Universidad/Investigación’, el porcentaje de hombres que consideran que su actividad laboral es más difícil que sus

estudios universitarios supera en 12,6% al porcentaje de mujeres que trabajan en ese campo.

- En los ámbitos de ‘Bancos/Finanzas’ y de ‘Ciencia/Tecnología/Industria’ es mayor el porcentaje de mujeres que el de hombres que consideran que su actividad laboral es más sencilla que sus estudios universitarios. La diferencia es 15,2% para ‘Bancos/Finanzas’ y 16,2% en el caso de ‘Ciencia/Tecnología/Industria’.

### 3.7. Demanda de formación

La encuesta incluyó la siguiente pregunta, con respuesta abierta: “¿Hay conocimientos que haya adquirido en su actividad profesional que piense que deberían estar incluidos en los actuales planes de estudios de Matemáticas? En caso afirmativo, cuáles.”

Contestó a esta pregunta el 51,38% de las personas encuestadas en activo. Tras clasificar las respuestas, la tabla 33 muestra el resumen de los resultados:

**Tabla 33. Conocimientos adquiridos en su actividad profesional que piense que deberían estar incluidos en los planes de estudios de Matemáticas**

	Número	Porcentaje
Programación avanzada y ciencia de datos	351	33%
Formación para la docencia	224	21%
Finanzas y gestión de empresas	132	12%
Estadística	113	11%
Aplicaciones de las matemáticas	93	9%
Herramientas básicas transversales	64	6%
Otros	86	8%
<b>Total</b>	<b>1.063</b>	<b>100%</b>

Como se puede observar, sobresalen dos demandas: ‘Programación avanzada y ciencia de datos’ (33%) y ‘Formación para la docencia’ (21%).

Si miramos la segmentación por el tiempo que hace que estas personas se titularon (tabla 34), observamos que las más recientes muestran un mayor interés por la formación en programación avanzada y ciencia de datos, mientras que quienes obtuvieron el título hace más de diez años señalan en mayor proporción que les habría gustado contar con más formación para la docencia.

Esto es consistente con la evolución del mercado de trabajos para las personas tituladas en Matemáticas.

**Tabla 34. Conocimientos adquiridos en su actividad profesional que piense que deberían estar incluidos en los planes de estudios de Matemáticas (por antigüedad en la titulación)**

	Menos de 2 años	Entre 2 y 5 años	Entre 5 y 10 años	Más de 10 años	Total
Programación avanzada y ciencia de datos	39%	36%	32%	23%	33%
Formación para la docencia	10%	18%	27%	35%	21%
Finanzas y gestión de empresas	1%	12%	12%	14%	12%
Estadística	13%	13%	9%	6%	11%
Aplicaciones de las matemáticas	10%	8%	9%	9%	9%
Herramientas básicas transversales	7%	6%	6%	4%	6%
Otros	9%	7%	7%	9%	8%
<b>Total</b>	100%	100%	100%	100%	100%

La formación en programación avanzada y ciencia de datos es la más demandada entre las personas más jóvenes mientras que las que obtuvieron su título hace más de diez años señalan en mayor proporción que les habría gustado contar con más formación para la docencia. Esto es consistente con la evolución del mercado de trabajos para las personas tituladas en Matemáticas

Para ver de otra manera la evolución de la demanda de formación, calculamos (tabla 35) los porcentajes dentro de cada categoría:

**Tabla 35. Conocimientos adquiridos en su actividad profesional que piense que deberían estar incluidos en los planes de estudios de Matemáticas (por antigüedad en la titulación y agrupada por categorías)**

	Menos de 2 años	Entre 2 y 5 años	Entre 5 y 10 años	Más de 10 años	Total
Programación avanzada y ciencia de datos	34%	30%	19%	16%	100%
Formación para la docencia	13%	23%	25%	38%	100%
Finanzas y gestión de empresas	28%	26%	20%	27%	100%
Estadística	37%	35%	16%	12%	100%
Aplicaciones de las matemáticas	32%	26%	19%	23%	100%
Herramientas básicas transversales	36%	28%	19%	17%	100%
Otros	34%	26%	16%	24%	100%
<b>Total</b>	29%	28%	20%	23%	100%

De nuevo, la ‘Formación para la docencia’ está más escorada a los titulados y tituladas de más de 10 años (38% de esta categoría, siendo un 23% de la muestra), mientras que las categorías ‘Aplicaciones’, ‘Estadística’, ‘Herramientas’ y ‘Programación avanzada y ciencia de datos’ concentran un tercio de las respuestas en la franja de nuevos titulados (menos de 2 años desde la obtención del título). Esto marca los nuevos nichos de empleo, atendidos por la gente más joven.

Se aprecia (figura 13) diferencia por sexos en lo referente a la demanda de formación en las dos categorías más frecuentemente citadas, ‘Formación para la docencia’ y ‘Programación avanzada y ciencia de datos’, siendo la primera más mencionada por las mujeres y la segunda, por los hombres.

**Figura 13. Conocimientos adquiridos en su actividad profesional que piense que deberían estar incluidos en los planes de estudios de Matemáticas (por sexo)**



Nota: A la izquierda se representa los datos de hombres y a la derecha de mujeres.

Finalmente, destacamos los siguientes datos referidos a las CC. AA.:

- El Principado de Asturias es donde un mayor porcentaje de encuestados desearía haber tenido formación en ‘Programación avanzada y ciencia de datos’ (28%).
- En Baleares, la demanda está muy concentrada en las dos categorías mayoritarias: ‘Formación para la docencia’ (50%) y en ‘Programación avanzada y ciencia de datos’ (25%).
- Si miramos en qué comunidades hay más personas tituladas que habrían deseado tener cada categoría de formación, la Comunidad de Madrid lidera en todas las categorías salvo en una, consecuencia lógica de que el 27% del total de respuestas provienen de esa comunidad. La excepción, que contrasta con la tendencia general, es la ‘Formación para la docencia’,

demandada únicamente por el 8% de los encuestados madrileños. En el otro extremo, la solicitud de formación en ‘Aplicaciones de las matemáticas’ en Madrid (32%) es más de tres veces la general.

- Las personas más interesadas en ‘Formación para la docencia’ se concentran en Andalucía (34% de los encuestados y encuestadas que contestan con esta opción). Este dato es más de tres veces el número de quienes piden esta formación en la segunda comunidad, Galicia (11%).
- Quienes contestan desde el extranjero muestran un interés bajo en la formación para la docencia, mientras que a un tercio les habría gustado recibir durante sus estudios universitarios formación en programación avanzada y ciencia de datos.

## ANEXO: Respuestas literales representativas a la pregunta “Otras observaciones que desee añadir”

- A los matemáticos se nos contrata por nuestra facilidad de resolver problemas. Seguir bajando el listón hace que salgan matemáticos menos preparados y no favorece a nadie.
- Además de aprender matemáticas, debería haber optativas orientadas a la enseñanza.
- Al estudiar matemáticas por gusto, no me desagrada no ejercer como matemático, pero sí noto que en el ámbito empresarial es un perfil que está muy bien valorado entre los directivos siempre que venga acompañado de buenas habilidades sociales.
- Al igual que otras carreras, el grado de Matemáticas necesita una revisión anual de su plan de estudios y más en los tiempos que vivimos. No podemos permitir que sus estudiantes desconozcan las aplicaciones que tiene en el mundo real hasta que se sientan delante de la mesa de su primer trabajo. Dicho esto, considero que Matemáticas es una carrera que te cambia la vida, cosa de la que pocas carreras pueden presumir. Te amuebla la cabeza para el resto de tu vida, y eso es impagable.
- Algunas de las materias como *Machine Learning* las incluiría en el grado.
- Alguno sí que deberían ir a máster, pero hay un problema serio con el enfoque aplicado de lo que se estudia, incluso la geometría proyectiva o la teoría categorías están relacionadas directamente con muchas de las tareas que realizo en mi trabajo, pero no se suele explicar esa relación. De cara a la labor profesional se aprenden cosas más interesantes en algunas páginas webs que en algunos centros universitarios, aunque todo lo que estudié me sirvió para ser un valor importante en las empresas en las que he trabajado creo que es importante tener en cuenta este otro factor a aplicar.
- Aparte del contenido, también habría que cuestionarse el formato de las clases. Actualmente creo que para divulgación son esenciales los vídeos que permiten al alumno aprender a su ritmo y poder retroceder y volver a ver las partes que no entienden, sin miedo a interrumpir el ritmo de las clases o las críticas de los propios compañeros.

- Así como veo necesario dar opción a complementar los conocimientos para ampliar las opciones profesionales de los matemáticos, también estoy convencida de que las empresas aún desconocen el potencial de un matemático. Hoy en día, mi puesto de trabajo no precisa de mis conocimientos académicos, sí de mis herramientas. Se debe a que me he tenido que adaptar yo al puesto, pero no se ha generado un nuevo perfil en función de mi formación, lo que debería acabar ocurriendo, en mi opinión.
- Aunque el nivel de paro de los matemáticos sea inferior a la media, lo cierto es que en los trabajos apenas se usan los conocimientos adquiridos, simplemente las empresas nos utilizan por su capacidad de aprendizaje. Además en España sigue faltando mejorar la calidad laboral ya que las condiciones que ofrecen normalmente, a mi juicio, son muy precarias (ej.: recién titulado con categoría junior unos 23.000 euros brutos anuales, es decir, unos 1.350 euros netos mensuales en Madrid donde el alquiler es más del 50% del sueldo y el nivel de vida es alto).
- Aunque no me ha faltado trabajo desde que acabé el doctorado, de no ser porque me dediqué a aprender por mi cuenta y de forma autodidacta lo necesario para mi puesto actual, no habría encontrado trabajo en este sector tan rápidamente (sector de la informática y desarrollo de *software*).
- Como docente de matemáticas en bachillerato con gran vocación, que disfruta enseñando la belleza, perfección y utilidad de la asignatura, creo que debería exigirse nuestra titulación para impartir en este nivel. Veo químicos, físicos, ingenieros y hasta biólogos transmitiendo contenidos sin rigor, con “trucos” o mecanizando ejercicios y me duele...
- Conjuguar las prácticas en empresas desde el primer curso universitario y atribuirle el consiguiente valor en créditos universitarios según los resultados obtenidos, fomentar y formar al alumno para el emprendimiento y creación de empresas.
- Considero que así como el máster de Matemáticas va dirigido a la investigación, el grado de Matemáticas (a mi parecer) debería incluir planteamientos reales a analizar, aplicando más la teoría a efectos prácticos.
- Considero que hice una gran elección al estudiar matemáticas, pero la complejidad teórica de la licenciatura no se corresponde con la realidad del mercado laboral. Son necesarios titulados que, además de teorías

matemáticas, conozcan lenguajes de programación, inglés (a un nivel alto), sepan comunicarse y vender. Además sería muy interesante de cara a orientar a los alumnos hacia posibles salidas laborales que se estudiaran conceptos de otras áreas donde también se requieren matemáticos: economía, finanzas, salud, meteorología,... Hay que entender que los matemáticos no somos solo gente que se dedica a dar clases o investigar. La realidad va mucho más allá y la universidad no lo está mostrando actualmente a los alumnos.

- Considero que la carrera de matemáticas está bastante alejada del mundo laboral salvo que se opte por la docencia o la programación. Deberían ofrecerse dobles grados de matemáticas y economía o administración de empresas que permitan desarrollar la capacidad lógica y analítica para aplicarla a la toma de decisiones y el control de gestión de la empresa y el mercado.
- Considero que la titulación de licenciatura/grado en Matemáticas nos prepara mejor que otras titulaciones de ciencias para desempeñar trabajos similares. La capacidad de resolución de problemas que adquirimos la podemos plasmar en nuestra vida laboral, con muy buenos resultados.
- Creo que a la carrera de matemáticas le falta alguna asignatura más aplicada y que se mejoren las capacidades transversales y autoestima de los alumnos.
- Creo que en el grado en Matemáticas hace falta una visión más realista y actual de la Estadística.
- Creo que la complejidad del aspecto abstracto de las matemáticas hay que saber aprender a transmitirlos de manera más didáctica (didácticas de construcción, manipulación e interacción). Hay que mejorar cómo poder llegar a más personas, no entiendo como hay niños de 11 años que puedan odiar las matemáticas aunque muchas veces ya viene ese odio de la casa. Para mí la carrera de Matemáticas me ha dado el poder de enfrentarme a cualquier situación, además creo que la relación de esta carrera junto con la informática es y será una relación súper poderosa.
- Creo que por haber estudiado matemáticas tengo más posibilidades en mi trabajo y de tener trabajo. Además me ha abierto la mente y me ha ayudado a saber pensar.
- Creo que, desde la facultad, se deben fomentar más habilidades sociales, comunicación y liderazgo.

- Cuando comienzas en el mundo laboral crees que estás muy lejos de los compañeros con estudios más prácticos. Pero en muy poco tiempo te pones a nivel o incluso superas dicho nivel. La capacidad de abstracción y el enfoque de los problemas desde múltiples puntos de vista es una ventaja competitiva clara.
- Debemos fomentar entre nuestros titulados su interés en colaborar en equipos multidisciplinares. La formación matemática recibida en la facultad, aunque fue muy buena pecó de ser excesivamente teórica. Suelo decir que se nos enseñaron muchas matemáticas pero no se nos enseñó ni para qué se utilizan ni cómo enseñarlas a gente no matemática. Este hecho ha provocado que en algunos lugares se nos vea como “bichos raros” que tienen poca conexión con la realidad.
- Debería existir una asignatura optativa dedicada a enseñar pedagogía para los licenciados que se quieran dedicar a la docencia.
- Deberían acercar más los conocimientos matemáticos al mundo empresarial. Mi sensación es que la facultad y la universidad viven en un mundo completamente diferente al empresarial.
- Deberían de darle a la formación como docente la importancia que tiene. Somos los que inculcamos en la sociedad el amor o el odio por las matemáticas.
- Desde mi humilde opinión, creo que tanto el grado de Matemáticas y el máster de formación del profesorado deberían ser revisados y modificados atendiendo al mundo laboral de hoy en día y dejar de seguir con una mentalidad anterior al plan Bolonia como ocurre todavía.
- Después de años como investigadora, un doctorado y una posdoctoral en el extranjero mi trabajo estable llegó dejando la carrera investigadora. En España a día de hoy no sirve para nada.
- Estudiar matemáticas me ha ayudado a estructurar y organizar mi forma de pensar y trabajar.
- El grado de Matemáticas debería orientar al estudiante no solo a conocimientos teóricos y prácticos, sino informarle de todas las salidas profesionales más allá de la docencia e investigación, ya que los matemáticos tienen una gran salida profesional en el sector privado como es el sector de la consultoría y auditoría.

- El hecho de haber cursado un doble grado en Informática y Matemáticas puede hacer que mi perfil sea diferente al de la mayoría de titulados puesto que mi carrera se ha dirigido predominantemente a la informática.
- El primer año de grado tiene asignaturas generales (biología, química,...) que se podrían sustituir por asignaturas matemáticas para aumentar la base del alumno o asignaturas basadas en programación, ya que aportan valor al alumno.
- El último año le dedicaría más tiempo a resolver problemas reales.
- En España, parece que los graduados en Matemáticas que no sean docentes han perdido contacto con la universidad. Establecer canales de contacto sería de mutuo beneficio.
- En general, las matemáticas me han servido para acceder a ciertos puestos de trabajo pero no han sido algo determinante en mi vida laboral. Estoy encantado de haber estudiado matemáticas pero me hubiese gustado un mayor enfoque en el entorno laboral, desde la RSME y otras instituciones se ha dado mucha importancia a la parte académica e investigadora (tendencia hasta hace poco y procedencia de la mayoría de los miembros) que, bajo mi punto de vista, requiere una revisión. La estadística y el análisis de datos van a ser materias clave en el futuro y estos estudios deberían darnos a los matemáticos un papel principal pues tenemos mayores y más profundos conocimientos que los ingenieros o incluso los físicos.
- En general, la formación en matemáticas es excepcional con respecto a otras disciplinas puesto que ofrece una ventaja competitiva enorme en el mercado corporativo.
- En general, los contenidos académicos son más que suficientes para desenvolverse dentro del ámbito laboral, donde el nivel de exigencia en conocimientos teóricos es bastante bajo. Sin embargo, los contenidos prácticos no cumplen con lo que luego se pide en el mercado.
- En la empresa privada se nos tiene en muy buen lugar a los matemáticos, pero salimos de la carrera con pocos recursos y conocimientos de empresa, cuando es donde cada vez hay más demanda para nosotros.
- En mi facultad, cuando yo estudiaba, estaba muy desprestigiado querer dedicarse a la docencia en IES. Escuché frases del tipo “es desperdiciar talento” por parte incluso de nuestros profesores de universidad.

- En mi opinión, el perfil y capacidades de un matemático son muy útiles en cómo enfocar retos en la empresa, pero a la vez hace que esta mentalidad del reto continuo, de la profundidad del análisis, pueda crear frustración en ciertos entornos más pragmáticos o superficiales.
- En mis estudios de grado, he echado en falta como indico en el punto anterior, un acercamiento a casos reales en distintas ramas empresariales. Otro aspecto fundamental reside en la Ciencia de Datos e Inteligencia Artificial. Gran parte de los matemáticos con los que trabajo y he trabajado, tienen como principal objetivo la creación de modelos matemáticos que reflejen una solución a partir de una serie de datos.
- Enfocaría la graduación a tres áreas: investigación, educación y empresa. Actualmente creo que el plan formativo depende directamente de la investigación de los docentes y el enfoque, aunque no explícito, es eminentemente a la investigación.
- Es complicado con 18 años saber qué te espera en la carrera de Matemáticas, y más todavía, qué futuro laboral te espera una vez la terminas. Si te gustan los números, resolver problemas y ejercicios de pensar, pero no te gustan las finanzas, los bancos y las consultorías, considero complicado encontrar un trabajo que se adapte a tus gustos.
- Es muy importante dar una visión aplicada de las matemáticas sin que eso tenga que suponer una merma del rigor científico.
- Es necesario incluir en la carrera más ejemplos de la vida real, ponerse en contacto con los distintos departamentos y que expliquen las grandes dificultades que surgen a la hora de modelar “la realidad”.
- Estoy muy contenta con lo aprendido en la carrera, aunque la mayoría no tenga aplicación directa en el mundo laboral. Debemos formar matemáticos, no técnicos.
- Estoy orgulloso de ser matemático aunque no trabaje específicamente en el área de matemáticas.
- Estudiar matemáticas fue duro, pero fue una decisión muy acertada. La versatilidad laboral y la variedad de *skills* que tenemos los matemáticos no tienen parangón en el mundo laboral. Somos profesionales de gran valor y

que muy a menudo resultamos imprescindibles en las empresas en las que trabajamos.

- Estudié grado de Ingeniería Mecánica y actualmente estoy estudiando máster en Investigación Matemática. Para complementar conocimientos matemáticos, que se considera no han sido recibidos en el grado y adquirir conocimientos profundos para dedicarse a la investigación en el campo de la mecánica.
- Falta la dedicación de la universidad en informar/preparar a los estudiantes de/para posibles salidas profesionales/entrevistas de trabajo.
- Hace falta una mayor vinculación de la facultad con el mundo empresarial y profesional de matemáticos en todos sus aspectos. En divulgación estamos abandonados.
- Hay concursos para estudiantes universitarios de grado en Matemáticas que considero son muy útiles para la vida empresarial.
- Incluir prácticas en el grado.
- Intentaría informar al alumnado sobre las salidas profesionales que tienen los matemáticos en el sector público.
- La carrera da la experiencia, herramientas y confianza para saber enfrentarse a nuevos retos en el ámbito profesional. Es fundamental que siga siendo así.
- La carrera de Matemáticas ayuda a estructurar la forma de pensar y adquirir ciertas capacidades muy importantes en el ámbito laboral. Por contra los estudios que yo realicé están muy alejados del mundo laboral teniendo una orientación excesivamente teórica.
- La carrera de Matemáticas está (o al menos estaba) centrada demasiado en la teoría y poco en la práctica, se enseñaban pocos ejemplos de las posibles aplicaciones de los conceptos teóricos a la vida real. El plan de estudio parece que está orientado solamente a aquellas personas que quieran dedicarse a la educación o a la investigación en matemáticas puras. Las asignaturas deberían de adaptarse a la realidad empresarial y a los perfiles actualmente demandados, como por ejemplo el *Big Data*.
- La carrera de Matemáticas está muy poco enfocada al mundo laboral.
- La carrera es demasiado teórica, encaminada solamente a la investigación.

- La carrera me ha aportado los conocimientos matemáticos pero he necesitado cursar el máster en formación del profesorado para aprender los aspectos pedagógicos que necesito para el desarrollo de mi labor docente universitaria.
- La carrera te aporta una forma de pensar. Los conocimientos como tales raramente serán usados al completo en el ámbito profesional. Dicho esto, la forma de trabajar de los matemáticos es muy respetada y elogiada allá donde voy.
- La complejidad en mi vida profesional es diferente, menos técnica pero mucho mayor en cuanto a la gestión de la incertidumbre, la amplitud de conocimiento necesario o las relaciones personales.
- La inclusión de una enseñanza de didáctica de las matemáticas, de forma específica en itinerarios y optativas en la facultad, beneficiaría enormemente la tarea profesional de los docentes de Enseñanza Secundaria y Bachillerato, orientando y mejorando la salida profesional de los universitarios interesados.
- En la licenciatura de Matemáticas faltan prácticas, estaba desmotivada con tanta teoría. La carrera me ha abierto la mente y muchas puertas profesionales. Dividiría la carrera entre los que quieren enseñanza y los que quieren empresa. Gracias por escuchar.
- La licenciatura de Matemáticas te enseña a pensar y afrontar problemas, pero está lejos de la realidad de la docencia y el aula de hoy día. Desconozco el grado.
- La licenciatura en Matemáticas dejó de aportarme gran cosa a partir del tercer-cuarto curso (solo profundidad y más destrezas que podrían estudiarse en otras titulaciones, las cuales no enseñan las matemáticas necesarias). Es posible que ahora con el grado, su impacto sea menor por ser un año menos (aunque estoy en contra del cambio realizado para encarecer el precio de titulación sin cambiar casi nada:  $5=4+1=3+2$  si no contemplamos el precio de matrícula). Parece que lo único importante es sacar grandes investigadores, pero ¿no creen que podrían obtenerse mejores investigadores si hubiera buenos profesores que facilitaran el camino y los impulsaran al éxito? Por otro lado se observa que llegan a la enseñanza de las matemáticas preuniversitaria muchos docentes que no son mínimamente matemáticos que no podrán enseñar el inicio al buen camino de la rigurosidad.

- La parte de haber programado mucho ha sido súper útil a lo largo de mi educación y vida laboral.
- Las asignaturas de informática que cursé en la carrera me han ayudado mucho tanto en lo laboral como en lo personal.
- Las asignaturas de la carrera son correctas y servirían si se impartieran de forma adecuada y ateniéndose a los planes de estudio que se deberían seguir. El problema es que no es el caso, los profesores en su mayoría eran pésimos, existían asignaturas que dependiendo de estos trataban de un tema u otro y otras que se quedaban en conocimientos nulos. Esto provoca desilusión y que la formación no sea suficiente en el ámbito laboral. Aparte de eso muchas asignaturas se cursaban sin tener conocimientos suficientes ya que cronológicamente estaban mal ordenadas.
- Las matemáticas te abren las puertas del mundo laboral.
- Las salidas profesionales para un matemático, hoy en día, suelen tener un componente informático/programación muy elevado que habitualmente no se adquiere en la carrera. En la empresa donde trabajo, se contratan muchos matemáticos, las finanzas entendemos que es algo que se adquiere en un postgrado o durante el desarrollo profesional, pero la parte de programación es algo que debería hacerse durante la carrera, aunque solo sea para poner en práctica lo que, a menudo, solo se estudia desde un punto de vista teórico.
- Los estudios de matemáticas no deberían mezclarse con lo que demandan las empresas en sus trabajadores. Esto solo deprecia la calidad de la titulación, que es de por sí vocacional y dedicada a la adquisición de conocimiento.
- Los grados tienen que ser mucho más prácticos y tienen que preparar al alumnado para la actividad empresarial y no solo para la investigación.
- Los profesionales que trabajamos en el campo de riesgos financieros comentamos usualmente que echamos en falta este tipo de formación, a nivel grado, posgrado/máster universitario en España. Mientras que en otros países parece estar más integrado en el ámbito universitario.
- Matemáticas para profesores, no para matemáticos.
- Me gustó mucho mi carrera y las asignaturas de la misma, gracias a la cual pude comenzar a trabajar mientras estaba en tercero de carrera.

- Mi experiencia de trabajo fue en el extranjero y tuve que hacer un máster porque con solo la licenciatura no encontraba trabajo.
- Muy orgulloso de decir que soy estadístico y que trabajo en ello.
- No quisiera que la carrera se convirtiera en una formación profesional. La carrera es preciosa y a trabajar se aprende luego.
- Para mi gusto en el grado hace falta una vertiente más técnica, para enfocarlo más al mundo laboral en lugar de unas matemáticas más avanzadas que de momento, en mi opinión, solo tienen cabida en el mundo de la investigación.
- Pienso que el máster debería tener una especialización que se encuentre entre la ingeniería y la física-matemática. Soy ingeniero (biomédico) de formación y, aunque el máster me ha servido mucho, creo que podría haberle sacado mayor partido si existiese una especialización en el plan de estudios que estuviese orientada a ingenieros. De hecho, cada vez está más solicitado y de cara a la investigación resultaría muy útil.
- Prioridad a los matemáticos en todo, vergonzoso que estén al mismo nivel que el resto de titulaciones hasta en sus propias oposiciones.
- De nuevo los matemáticos tenemos muchísimo potencial y este se les podría explicar a los alumnos de secundaria para atraerlos a la carrera.
- Reconducir a los futuros profesores dentro de los estudios de grado para su vocación o futura ocupación.
- Sería útil dar la opción a elegir asignaturas más aplicadas donde se estudiaran ejemplos reales de aplicación de las matemáticas en empresas o en equipos de investigación.
- Si algo he conseguido de mi carrera no son conocimientos concretos, muchos de ellos se olvidan y el que diga lo contrario miente, sino tener una disciplina de trabajo poco común y una capacidad y velocidad de razonamiento increíble, pero ¿a qué precio? ¿Alguien se ha planteado cuánta gente válida o muy válida se ha quedado en el camino? Yo podría nombraros a muchos de ellos, con los que estudié y no consiguieron titularse. ¿Nadie ve eso como un fracaso?
- Si el grado de Matemáticas fuera más diversificado, o un grado moderno y no obsoleto, que salga un matemático que sea capaz de utilizar su conocimiento matemático en cualquier rama, y no un ingeniero que sabe menos que yo.

- Sobran demostraciones y faltan casos prácticos y reales. Es lo que se necesita para trabajar en una empresa. La base teórica necesaria se limita a “condiciones para poder aplicar un método, cómo comprobarlas de forma directa, qué alternativas existen” y resolver muchos (repito, muchos) casos prácticos con ordenador (que es como hoy en día se trabaja en una empresa: R o Python).
- Soy profesora por vocación, pero tuve la oportunidad de trabajar en dos empresas de modelización y análisis de mercados, en las que mi trabajo era estable y mi actividad muy interesante y muy relacionada con lo estudiado en la carrera. Cambié de trabajo por amor a las matemáticas y necesidad de transmitirlo.
- Tengo la sensación de que la licenciatura que realicé estaba más orientada hacia la investigación que hacia cualquier otra salida y fue mucho más teórica que práctica o aplicada. A pesar de que la empleabilidad del matemático es muy buena, creo que podría mejorarse todavía más de esta forma.
- Volvería a estudiar esta carrera mil veces si hiciera falta. Me han hecho ser mejor persona.
- Yo he tenido suerte y he conseguido un puesto permanente rápido en la universidad, pero sinceramente la carrera investigadora es en general incompatible con una vida familiar. Esto tiene que cambiar. No puede haber tanta inestabilidad.
- En la universidad, he hecho el estudio de matemáticas aplicadas con especialidad en el análisis operativo. Creo que no existe en España pero puede ser recomendable considerar incluirlo en el currículo.
- En mi caso los estudios me han ayudado por las habilidades adquiridas más que por los conocimientos. Cuando yo empecé la carrera el trabajo de desarrollo informático era anecdótico y las técnicas de programación actuales en poco se parecen a las utilizadas en la facultad.
- Las matemáticas me han aportado fuertes cimientos para aprender otros lenguajes de más alto nivel.
- Si pudiera volver a estudiar haría master y doctorado.
- Los profesores de matemáticas tienen muy poca experiencia real.

- No tengo la carrera terminada. Hice 3 cursos de la licenciatura en CC Matemáticas. Además soy Ingeniero en Informática. He decidido rellenar la encuesta porque los conocimientos adquiridos en CC Matemáticas son los que me han ayudado a diferenciarme del resto de mis colegas en el mundo de la algoritmia.
- Orientar la optatividad del grado en estos temas es muy necesaria para orientar la carrera profesional de alguien que no quiera o no pueda hacer un máster.

# INVESTIGACIÓN MATEMÁTICA EN ESPAÑA

María Jesús Carro Rossell (Coordinadora)<sup>1</sup>, José Luis Ferrín González<sup>2</sup>,  
Alfonso Gordaliza Ramos<sup>3</sup>, Pablo Pedregal Tercero<sup>4</sup>,  
Carmen Ortiz-Caraballo<sup>5</sup>, Alfredo Peris Mangillot<sup>6</sup>, Luis Vega González<sup>7</sup>

1: Universidad Complutense de Madrid

2: Universidade de Santiago de Compostela

3: Universidad de Valladolid

4: Universidad de Extremadura

5: Universidad de Castilla-La Mancha

6: Universitat Politècnica de Valencia

7: Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea

## 1. INTRODUCCIÓN

Con motivo de la celebración del Año Mundial de las Matemáticas en el 2000, C. Andradas y E. Zuazua elaboraron el documento *Informe sobre la investigación matemática en España en el periodo 1990-1999*, en el que ya destacaron el crecimiento de nuestra investigación tanto en intensidad como en calidad e impacto. En dicho informe se analizaron los artículos que aparecían en la base de datos “MathSciNet” de la American Mathematical Society, entendiendo como producción española aquellos documentos en los que algún firmante incluía España o alguna institución española. Ya en esos momentos la producción matemática figuraba entre los diez países más importantes del mundo. En cuanto a las debilidades de entonces se señalaban el envejecimiento de la masa crítica de investigadores y las dificultades de los y las más jóvenes para desarrollar una carrera investigadora intensa y de calidad.

Continuando dicho estudio analizaremos, en este capítulo, diferentes aspectos relativos al desarrollo de la investigación matemática en España en el periodo 2000/2017.

Comenzaremos analizando aquellos aspectos relacionados con la carrera investigadora, desde que el estudiantado termina los estudios de grado hasta que su formación y CV le permiten acceder a un puesto indefinido en el sistema

universitario o en un centro de investigación. Las salidas profesionales de las personas egresadas en Matemáticas están analizadas en el capítulo de Salidas Profesionales de las Matemáticas en este Libro Blanco.

La estructura de este capítulo es como sigue. En la segunda sección analizaremos la **etapa predoctoral**. Comenzaremos presentando datos de estudiantes que han estado matriculados y han completado los diferentes másteres que tenemos en la actualidad, así como de alumnado de los diferentes programas de doctorado. Presentaremos datos de las tesis leídas en matemáticas en los últimos años y de sus diferentes fuentes de financiación. En particular, analizaremos con detalle el programa de becas FPU y FPI, así como las convocatorias predoctorales de La Caixa y presentaremos datos sobre el tipo de financiación del actual estudiantado de doctorado.

En la tercera sección, analizaremos diferentes **convocatorias de tipo posdoctoral**, como los programas Juan de la Cierva, Ramón y Cajal, convocatorias posdoctorales de La Caixa y las ayudas del Consejo Europeo de Investigación (ERC). La cuarta sección será dedicada al **Programa Nacional de Matemáticas** y presentaremos datos sobre el Programa General del Conocimiento, la convocatoria de Redes y el programa de Acciones Especiales. La quinta sección la dedicaremos al análisis de diversos **centros de investigación** como CRM, BCAM, ICMAT, ITMATI y la red de institutos universitarios REDIUM. En esta misma sección, analizaremos las instituciones ICREA e IKERBASQUE, así como la Unidad de Excelencia María de Maeztu, BGSMAH.

En la sexta sección, presentamos un **estudio amplio de las publicaciones** y en la última sección analizaremos algunos aspectos relacionados con la transferencia del conocimiento en matemáticas, matemática industrial e interdisciplinar.

Cada sección tendrá su propia introducción, así como una explicación de la metodología seguida para la recogida y el análisis de los datos.

Es difícil pretender ser exhaustivo ante la gran cantidad de datos de tantos y diferentes aspectos, pero intentaremos presentar nuestra realidad, haciendo un análisis de debilidades y fortalezas y presentando, en la medida de lo posible, propuestas de mejora.

## 2. ETAPA PREDOCTORAL

### 2.1. Másteres Universitarios en Matemáticas y Estadística

Los estudios oficiales de máster tienen aún una escasa tradición en España, pues su origen data de la entrada en vigor del Real Decreto 56/2005, de 21 de enero, por el que se regulaban los estudios universitarios oficiales de posgrado. Esta legislación tuvo una vigencia muy corta, al ser derogada con la entrada en vigor del Real Decreto 1393/2007, de 29 de octubre, por el que se establece la ordenación de las enseñanzas universitarias oficiales y se regulan los tres niveles existentes de estudios universitarios en la actualidad: grado, máster y doctorado. La entrada en vigor de esta nueva legislación obligó a la renovación y adaptación de los títulos de máster creados en el corto periodo de vigencia del Real Decreto 56/2005.

El estudio realizado sobre los actuales títulos de máster del ámbito de las matemáticas y la estadística comprende dos aspectos. En primer lugar, haremos una descripción del panorama actual de titulaciones de máster existentes en este ámbito, a partir de los datos extraídos del Registro de Universidades, Centros y Títulos (RUCT) y de la Estadística de Universidades, Centros y Titulaciones (EUCT), ambos del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades. En segundo lugar, estudiaremos los datos de alumnado matriculado y egresado en estas titulaciones, extraídos de las estadísticas oficiales ofrecidas por el Ministerio de Educación y Formación Profesional. Las series de datos de estudiantado matriculado y egresado en este nivel educativo se ofrecen desde el curso 2008/2009, tras la entrada en vigor del Real Decreto 1393/2007. Para seleccionar los estudios relacionados con el ámbito de las matemáticas y la estadística, se han incluido los códigos 0541-Matemáticas, 0542-Estadística y 0549-Matemáticas y Estadística (otros estudios) de la clasificación de Códigos ISCED 2013 (The International Standard Classification of Education). Hay que hacer notar que en el RUCT no se indica el código ISCED de las titulaciones registradas, por lo que las personas usuarias de estas estadísticas oficiales no pueden saber con exactitud de manera inmediata las titulaciones concretas que el ministerio incluye en cada código ISCED, más allá de lo que se pueda deducir por el nombre de cada titulación. Además, hay que reconocer que la proliferación de títulos con nombres cada vez más multidisciplinares (con varias áreas científicas representadas en el título) e interdisciplinares (que atañen a nuevos campos fronterizos entre áreas diversas), hace complicada la clasificación.

En cuanto a las titulaciones de máster existentes en el ámbito de las matemáticas y la estadística, en el RUCT aparecen 28 cuyo nombre contiene la palabra ‘Matemática(s)’, después de haber eliminado los enmarcados en las áreas de didáctica de esta disciplina. En tres de estos másteres aparece también en el nombre la palabra ‘Física’, en siete la palabra ‘Computación/Computacional’ y en siete la palabra ‘Ingeniería’. Por otra parte, la palabra ‘Estadística/Bioestadística’ aparece en ocho nombres de títulos de máster, sin contar los que incluyen también ‘Matemáticas’. A estos últimos, podemos añadir cuatro títulos de máster en cuyos nombres aparecen las palabras ‘Análisis de Datos/Ciencia de Datos’ y que tienen un contenido marcadamente estadístico. Así pues, a partir del RUCT podemos hablar de 40 títulos de máster en España en este momento en el ámbito de matemáticas/estadística, cifra que concuerda con la EUCT del curso 2017/2018. Todos estos títulos corresponden a universidades públicas y ocho de ellos (20%) son titulaciones conjuntas de más de una universidad, uno de ellos internacional.

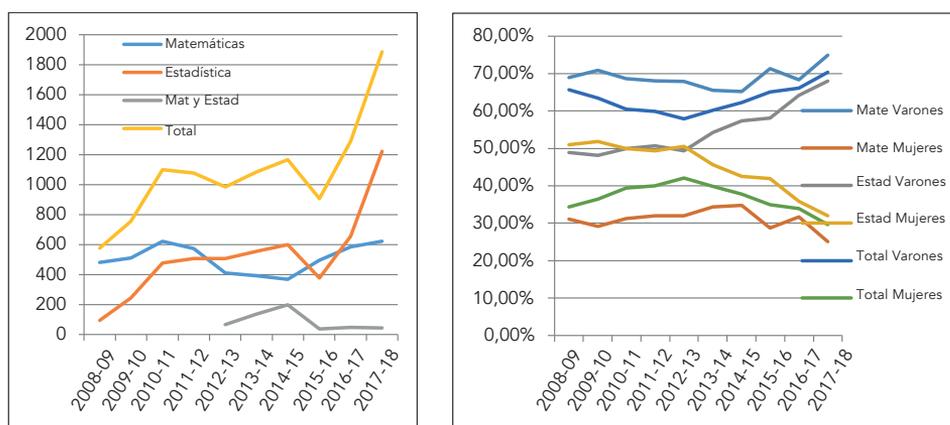
Buena parte de estos másteres tratan de aunar un doble perfil para acoger tanto a alumnado cuyo interés es la iniciación a la investigación y que es candidato claro a nutrir más adelante los programas de doctorado en matemáticas/estadística, como a estudiantado que busca un perfil profesional especializado en matemáticas/estadística avanzadas y para los que el doctorado en Matemáticas/Estadística no es una prioridad. De hecho, el perfil formativo previo de nivel de grado de una parte sustancial del alumnado de estos másteres es diferente al de matemáticas/estadística.

Hay que decir que en el RUCT aparecen otros 20 con títulos multidisciplinares y un perfil netamente profesionalizante y que, aunque en sus nombres aparecen palabras como ‘Análisis de datos/Ciencia de Datos/Big Data/etc.’, se enmarcan claramente en otros ámbitos como ‘Economía y Finanzas’, ‘Tecnologías de la Información y las Comunicaciones’, ‘Bioinformática’, etc., y que no tienen códigos ISCED de matemáticas y estadística. El 45% de estos títulos son ofertados por universidades privadas y el resto, por universidades públicas, entre los cuales hay tres másteres conjuntos.

En cuanto a los datos de alumnado matriculado en titulaciones de máster con los tres códigos ISCED 2013 mencionados, se puede ver que, tras el despegue inicial con la creación de estos títulos, se produjo un estancamiento entre los 1.000 y los 1.200 estudiantes con matrícula (repartidos casi al 50% entre los

códigos de matemáticas y estadística), hasta el curso 2015/2016, año en el que se produce un crecimiento vertiginoso de las titulaciones en Estadística, que alcanzan en la actualidad los 1.200 estudiantes, frente a los 600 de Matemáticas, crecimiento que corresponde realmente al último curso disponible en la web del ministerio, es decir, el 2017/2018, y cuya evolución habrá que seguir estudiando en los próximos cursos. Sin duda la eclosión del fenómeno *big data* y la Ciencia de Datos y la necesidad de abordarlo también desde una perspectiva de la estadística matemática están en la raíz de este crecimiento.

**Figura 1. Estudiantado matriculado en títulos de Máster en Matemáticas/Estadística y distribución por género**

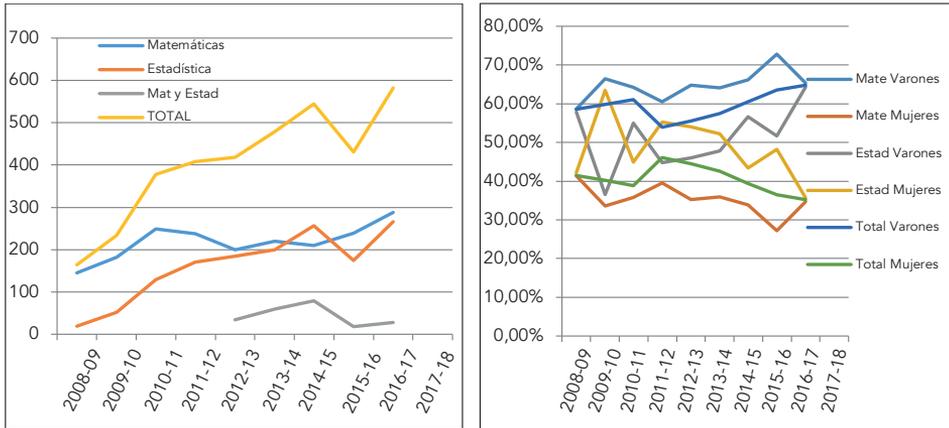


La distribución por sexos en matemáticas muestra en todo momento un claro sesgo hacia los hombres, que tiende a agudizarse, acercándose a una distribución cercana al 3 a 1 en el momento actual. Es curioso observar que, en el caso de estadística, la distribución estaba equilibrada hasta el curso 2012/2013 pero, a partir de ese curso, está convergiendo hacia un perfil similar al de matemáticas, dando lugar actualmente a un perfil 70%-30% a favor de los hombres en el conjunto de los tres códigos.

En consonancia con los datos de estudiantado matriculado, el número de personas egresadas en titulaciones de máster en matemáticas también muestra un estancamiento entre los 200-300 anuales. En el caso de Estadística, se ha pasado de cifras casi nulas en 2008/2009 a situarse ya en cifras cercanas a las de los egresados de Matemáticas, comenzando a notarse el despegue mencionado de estas titulaciones en cuanto a número de matriculados, si bien los datos

disponibles en este caso solo alcanzan al curso 2016/2017. En resumen, en el conjunto de los tres códigos ISCED, el último dato se acerca a los 600 estudiantes egresados, cifra que crecerá en los próximos años por el empuje de los títulos de Estadística.

**Figura 2. Alumnado egresado en títulos de Master en Matemáticas/Estadística y distribución por género**



El porcentaje de personas egresadas sobre matriculadas en cada curso ha ido creciendo desde un 28,5% al inicio del periodo en estudio a entorno al 45% en los últimos cursos. Esta tasa es difícil de interpretar debido a que los programas de máster pueden variar entre 60 y 120 créditos ECTS, siendo bastante frecuente el número de 90 créditos ECTS. Así pues, como la duración puede oscilar entre uno y dos cursos académicos, el porcentaje no es realmente una tasa de éxito.

El sesgo en la distribución de las y los egresados por sexos comienza siendo más marcado en matemáticas que en estadística, para acabar aproximándose ambas series hasta el último dato de 65%-35% aproximadamente en favor de los hombres en ambos casos en el curso 2016/2017.

Como conclusion, cabe decir que las titulaciones de máster en Matemáticas/ Estadística comienzan a despegar en España animadas por las buenas perspectivas profesionales de estas disciplinas. Este ascenso comienza a trasladar su impacto al doctorado, cuyos números comienzan a recuperarse, según se ve, en la sección dedicada a ese nivel educativo. Es de esperar que este impacto siga aumentando en el corto plazo, si bien es complicado deslindar el tamaño del subconjunto de

estudiantes de máster con vocación investigadora que nutrirán los programas de doctorado en Matemáticas/Estadística. También es de destacar la clara brecha de género en estas titulaciones, que tiende a acrecentarse.

## 2.2. Programas de Doctorado en Matemáticas y Estadística

Los estudios oficiales de doctorado existentes actualmente en España se regulan por el Real Decreto 99/2011, de 28 de enero. Esta normativa obligaba a que los programas de doctorado preexistentes, verificados conforme al anterior Real Decreto 1393/2007, de 29 de octubre, se adaptaran al nuevo real decreto antes del inicio del curso 2013/2014 o bien quedaran completamente extinguidos antes del 30 de septiembre de 2017. Asimismo, establecía un plazo de cinco años para que el alumnado de programas en extinción pudiera presentar su tesis sin tener que cambiar a los nuevos programas adaptados. El Real Decreto 534/2013, de 12 de julio, amplió los plazos de adaptación de los programas existentes y fijó el 30 de septiembre de 2017 como fecha límite para la defensa de las tesis de programas a extinguir.

El presente estudio sobre los actuales programas de doctorado del ámbito de matemáticas y estadística comprende dos aspectos. En primer lugar, haremos una descripción del panorama actual de los programas existentes, con datos extraídos del Registro de Universidades, Centros y Títulos (RUCT) y de la Estadística de Universidades, Centros y Titulaciones (EUCT), ambos del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades. En segundo lugar, estudiaremos los datos de estudiantes con matrícula en estas titulaciones, extraídos de las estadísticas oficiales ofrecidas por la Administración, tratando de aunar dos periodos muy diferentes según las fuentes que recogen y elaboran los datos: un primer periodo hasta el curso 2008/2009, en el que la fuente es el Instituto Nacional de Estadística (INE), y un segundo periodo, a partir del curso 2014/2015, en el que el Ministerio de Educación y Formación Profesional toma el relevo al INE, correspondiendo con la consolidación de los programas de doctorado Real Decreto 99/2011. Entre ambos ciclos, nos encontramos con el periodo de los cursos 2009/2010 y 2010/2014 en el que hay datos disponibles de estudiantes de doctorado, pero sin distinguir campos de estudio dentro de las grandes ramas del conocimiento, en este caso dentro de la rama de ciencias. Por otro lado, entre los cursos 2011/2012 y 2013/2014 no se ofrecen datos por ninguna de las dos fuentes. Así pues, el estudio tiene una laguna de cinco cursos académicos. El cambio de fuente de datos supuso también un cambio de metodología. El INE

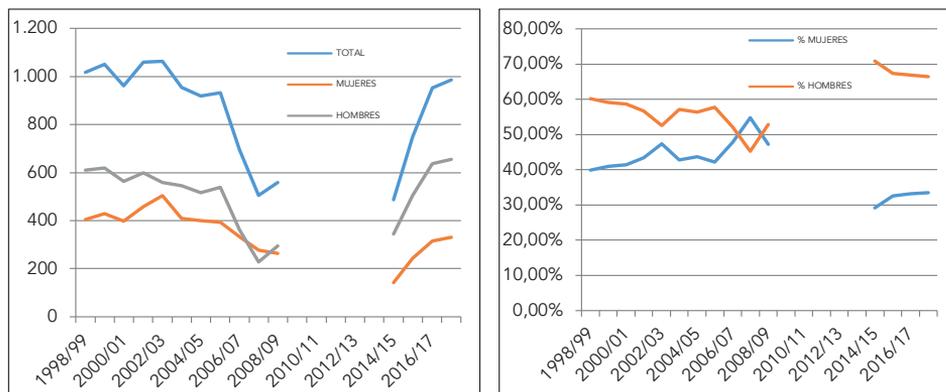
clasificaba al alumnado de doctorado según la licenciatura cursada previamente, es decir Ciencias Matemáticas o Ciencias y Técnicas Estadísticas en el caso que nos ocupa. Por otra parte, el Ministerio de Educación utiliza los consabidos códigos ISCED para los ámbitos de estudio, siendo de nuestro interés los mismos códigos que venimos utilizando en otras partes del informe: 0541-Matemáticas, 0542-Estadística y 0549-Matemáticas y Estadística (otros estudios).

En cuanto a los programas de doctorado existentes en el ámbito de las matemáticas y la estadística, en el RUCT aparecen 28 programas cuyo nombre contiene una de las palabras ‘Matemática(s)’, ‘Estadística’ o ‘Análisis de Datos/Ciencia de Datos’, después de haber eliminado uno enmarcado en las áreas de didáctica de esta disciplina. El nombre que más abunda es “Programa de Doctorado en Matemáticas”, que se repite en ocho programas (30%). La palabra ‘Matemática(s)’ aparece en 22 programas, la palabra ‘Estadística’ en ocho y ‘Análisis de Datos/Ciencia de Datos’, en dos. En cuatro de ellos coexisten en el nombre las dos palabras ‘Matemática(s)’ y ‘Estadística’. En dos de los programas aparece en el nombre también la palabra ‘Física’, en cuatro, los términos ‘Ingeniería/Ingeniería Matemática’, en dos, ‘Informática/Ingeniería Informática’ y en uno, ‘Computación’. Ocho programas (casi un 30%) son conjuntos de varias universidades y solo uno de ellos es de una universidad privada. Por otra parte, en la EUCT solo se clasifican 25 programas de doctorado en el campo de estudio de matemáticas y estadística, por lo que tenemos un pequeño desfase derivado de la arbitrariedad a la hora de clasificar en uno u otro campo algunos de los programas multidisciplinares mencionados.

En cuanto al número de estudiantado matriculado en los programas del ámbito de las matemáticas y la estadística a lo largo del periodo en estudio, con las limitaciones de los datos disponibles comentadas en la introducción de esta sección, podemos ver que veníamos de unas cifras en torno a 1000 matriculados y matriculadas hasta principios de los años 2000, y luego se produjo un fuerte retroceso bajando a en torno a 500 en 2007/2008. La falta de datos en los años siguientes puede estar ocultando que el retroceso pudo llegar a ser realmente mayor en el entorno del curso 2010/2011. Con la nueva serie de datos del ministerio arranca el periodo de recuperación hasta alcanzar de nuevo cifras cercanas a 1000 estudiantes en el último curso académico disponible. La elevada pendiente de la trayectoria final hay que interpretarla con cautela, ya que corresponde al periodo en el que coexistían algunos programas por el Real Decreto 99/2011 que registra la estadística con otros del Real Decreto

1393/2007, que no se registran, e incluso con los restos de las normativas anteriores. El dato realmente informativo en cuanto al número total de doctorandos en Matemáticas/Estadística es el del último curso disponible en el tramo final de la serie, es decir, el curso 2017/2018, ya que en ese momento todos los doctorados de normativas anteriores estaban ya extinguidos.

**Figura 3. Estudiantado matriculado en programa de doctorado en Matemáticas/Estadística y distribución por género**



Hay que hacer notar que el dato de 1.000 estudiantes/año matriculados en total en los programas de doctorado de Matemáticas/Estadística es incompatible con el dato oficial de en torno a 700 tesis/año leídas en estas áreas, que veremos más adelante, habida cuenta de que los estándares de permanencia del alumnado en los programas de doctorado se sitúan en los cuatro años (entre tres y cinco años) con dedicación a tiempo completo, que es la más habitual. Esto refuerza la idea de una metodología deficiente de clasificación de las tesis doctorales de TESEO usada por el ministerio, que imputa numerosas tesis a Matemáticas y Estadística de manera indebida.

En el estudio gráfico no se ha considerado interesante distinguir los códigos de Matemáticas y de Estadística, ya que buena parte de las tesis en Estadística están en programas de doctorado en Matemáticas. No obstante, por completar la información aportada, en el periodo INE los y las doctorandas procedentes de la Licenciatura en Ciencias y Técnicas Estadísticas fueron aumentando desde el 1,5% hasta el 15% sobre el total del conjunto con Ciencias Matemáticas. En el periodo actual del Real Decreto 99/2011 el código

ISCED 0541-Matemáticas ha disminuido desde un 69% inicial a un 60% en el último curso, el código 0542-Estadística ha aumentado desde un 18% a un 25% y el 0549-Matemáticas y Estadística (otros estudios) está más o menos estable entre el 13% y el 15%.

La distribución por sexos muestra la tradicional brecha de género en el área, con algunas oscilaciones en el periodo en estudio, donde se parte de una distribución 60%-40% a favor de los hombres, que tiende a igualarse a medida que se agudizaba la crisis de matrículas, alcanzándose el 50%-50% entre 2006/2007 y 2008/2009, para rebrotar con más sesgo si cabe en el periodo final del Real Decreto 99/2011 y situarse en la actualidad en el 66,5%-33,5%. Así pues, en los años de declive, el desinterés por el doctorado se notó más en los hombres que en las mujeres y la actual expectativa que despierta la investigación en matemáticas/estadística recupera con fuerza la presencia masculina.

Como conclusión, cabe decir que los programas de doctorado en Matemáticas/Estadística se recuperan tras una “larga travesía del desierto” de más de una década y alcanzan en la actualidad las cifras de primeros años del siglo, en torno a 1.000 personas matriculadas/año. Por otra parte, el desequilibrio de género a favor de los hombres se agudiza con este repunte de los programas, situándose en 2 a 1 a favor de los hombres en los últimos años.

### **2.3. Programa de ayudas para la Formación del Profesorado Universitario (FPU)**

El programa de ayudas para Formación del Profesorado Universitario (FPU) del actual Ministerio de Educación y Formación Profesional tiene ya una larga historia en España y constituye una de las vías más importantes de formación de personal investigador, quizás la más prestigiosa entre el estudiantado de doctorado. Se trata de un programa anual que pretende la formación de doctores y doctoras con competencias docentes adicionales que faciliten su futura incorporación al sistema español de educación superior y de investigación científica. Los datos que se aportan y analizan en este apartado han sido facilitados por el Ministerio de Educación y Formación Profesional y corresponden al periodo 2000/2018.

Los contratos FPU se distribuyen por áreas temáticas ANEP y en la convocatoria se dan indicaciones del grado de afinidad de los programas de

doctorado que cursan los y las solicitantes, clasificados por códigos ISCED, con las áreas temáticas de la ANEP a las que concurren dentro de la convocatoria. El área temática MTM, correspondiente a Matemáticas, recibe anualmente un determinado número de contratos para los que se considera con alto grado de afinidad al estudiantado de los programas de doctorado con códigos ISCED 0541 (Matemáticas) y 0542 (Estadística), estos últimos considerados también de alto grado de afinidad con el área ECO (Economía). Además, el alumnado de programas de doctorado con el código ISCED de Matemáticas se considera de bajo grado de afinidad en el área INF (Ciencias de la Computación y Tecnología Informática) y los de Estadística en el área CS (Ciencias Sociales). Recíprocamente, los y las estudiantes de programas de doctorado con códigos ISCED 0611 a 0613, correspondientes a Tecnologías de la Información y la Comunicación, y el 0411, correspondiente a Contabilidad e Impuestos, también se vinculan en la convocatoria al área ANEP MTM, pero con grado bajo de afinidad. El resto de los programas de doctorado con otros códigos ISCED se consideran sin afinidad para el área MTM, del mismo modo que los programas con códigos ISCED de Matemáticas y Estadística se consideran sin afinidad para el resto de las áreas ANEP no mencionadas. El grado de afinidad apenas supone una leve diferencia de ponderación de la nota media de selección del solicitante (en la convocatoria 2018, 1,00 para el grado alto, 0,98 para el grado bajo y 0,96 para programas sin afinidad).

Como se puede ver en la tabla 1, desde el inicio del periodo en estudio, el número de contratos FPU anuales en el área MTM ha disminuido desde valores iniciales entre 25-30 contratos, a los aproximadamente 15 contratos actuales, es decir, poco más de la mitad que al principio del periodo en estudio. Este decrecimiento ha sido paulatino. El descenso experimentado en el área MTM es mucho mayor que el ligero descenso en el total de contratos FPU en el periodo. Esto ha supuesto que el área MTM haya pasado de un peso del 3% sobre el total de contratos FPU al inicio del periodo, a un 1,6% actual, es decir, su peso se ha reducido prácticamente a la mitad. Como dato comparativo con áreas ANEP con cierta afinidad, señalaremos que en las cuatro últimas convocatorias estudiadas el área MTM se ha movido entre 14 y 16 contratos, mientras que el área FIS (Física y Ciencias del Espacio) lo ha hecho entre 20 y 23, casi un 50% más de contratos, y el área INF (Ciencias de la Computación y Tecnología Informática) lo ha hecho entre 32 y 37, más de un 125% más de contratos.

**Tabla 1. Evolución de los contratos FPU (2000/2018)**

CONVOCATORIA	BENEFICIARIOS			SOLICITANTES			TASA DE ÉXITO	
	MTM	TOTAL	% MTM	MTM	TOTAL	% MTM	MTM	TOTAL
2000*	66	861	7,67%	271	4.702	5,76%	24,35%	18,31%
2001	25	876	2,85%	97	4.188	2,32%	25,77%	20,92%
2002	30	998	3,01%	95	4.143	2,29%	31,58%	24,09%
2003	27	950	2,84%	115	5.342	2,15%	23,48%	17,78%
2004	28	950	2,95%	129	7.216	1,79%	21,71%	13,17%
2005	27	944	2,86%	92	5.428	1,69%	29,35%	17,39%
2006	20	904	2,21%	73	4.806	1,52%	27,40%	18,81%
2007	20	920	2,17%	67	4.325	1,55%	29,85%	21,27%
2008	22	945	2,33%	94	4.775	1,97%	23,40%	19,79%
2009	21	927	2,27%	81	5.283	1,53%	25,93%	17,55%
2010	19	928	2,05%	108	6.096	1,77%	17,59%	15,22%
2011**								
2012	17	810	2,10%	133	6.948	1,91%	12,78%	11,66%
2013	11	798	1,38%	122	7.074	1,72%	9,02%	11,28%
2014	16	804	1,99%	123	7.300	1,68%	13,01%	11,01%
2015	15	841	1,78%	110	7.345	1,50%	13,64%	11,45%
2016	14	833	1,68%	124	7.475	1,66%	11,29%	11,14%
2017	13	795	1,64%	114	6.537	1,74%	11,40%	12,16%
TOTAL	391	15.084	2,59%	1948	98.983	1,97%	20,07%	15,24%

\* En el año 2000 el área de conocimiento era física y matemáticas conjuntamente.

\*\* En el año 2011 no hubo convocatoria FPU.

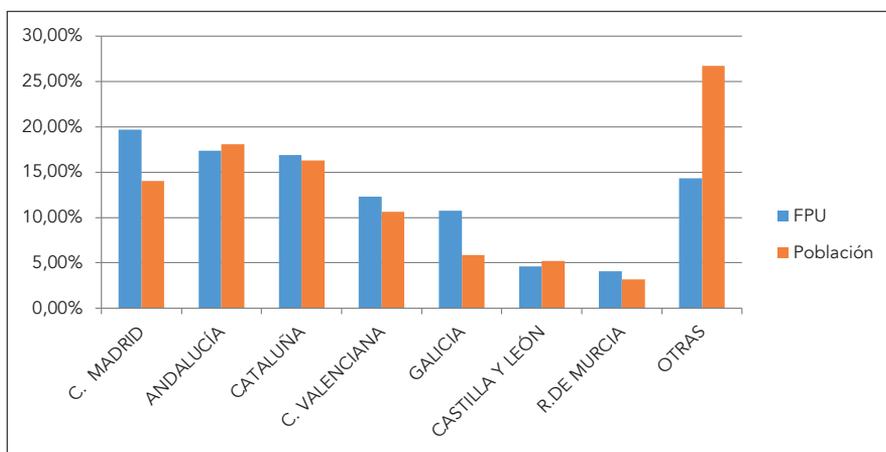
El número anual de solicitantes ha crecido ligeramente desde el inicio del periodo en estudio, con algunos altibajos. En la actualidad este número se mueve entre 100 y 125 solicitudes anuales. Por el contrario, el total de solicitantes que concurren al programa en el total de las áreas ha crecido más del 50% en el periodo en estudio, pasando de cifras iniciales ligeramente por encima de 4.000 solicitantes a las cifras actuales en torno a 7.000 solicitantes. Por esta razón, el peso de las solicitudes que optan por el área MTM en relación con el total de solicitantes que concurren al programa ha ido disminuyendo paulatinamente desde aproximadamente el 2,3% inicial al 1,7% actual. La tasa de éxito en el área MTM ha bajado en el periodo de aproximadamente un 25% inicial al 11%

actual, siendo esta tasa en la actualidad razonablemente similar a la tasa global de éxito del programa.

Esta evolución negativa del peso del área MTM en el programa FPU es consecuencia de que el reparto de contratos por áreas que realiza el ministerio se hace proporcionalmente a las solicitudes que se presentan en cada área, lo que concuerda con la similitud de las tasas de éxito comentada anteriormente. El modelo de reparto de los contratos por áreas ANEP hasta el año 2010 (en el año 2011 no hubo convocatoria) era diferente del actual y, al menos en el área MTM, se tenían en consideración otros factores aparte del número de solicitantes como se puede ver por los datos recogidos en la tabla aportada, donde en algunas anualidades la tasa de éxito en MTM llegó a ser un 50% superior a la tasa general, superando el 30%. Naturalmente, el bajo número de solicitudes presentadas en el área MTM durante el periodo en estudio, que tiene que ver con la crisis de vocaciones sufrida por las titulaciones universitarias de Matemáticas durante más de una década y con la expansión de la oferta profesional fuera del mundo académico para estos y estas tituladas, determina el declive del peso del área MTM en la convocatoria con el modelo actual de asignación de los contratos a áreas ANEP y alimenta un círculo vicioso muy perjudicial para el área MTM, necesitada en el momento actual, de forma imperiosa, de talento joven para un relevo generacional que está seriamente amenazado.

La distribución de los contratos FPU por comunidades autónomas es razonablemente proporcional a la población, con una prima a Madrid y, sobre todo, a Galicia, y una infrarrepresentación de comunidades autónomas más pequeñas y/o con menos tradición de facultades y centros de Matemáticas. Madrid, Andalucía y Cataluña consiguen un 54% de los contratos, pero también tienen casi el 50% de la población española (48%). Es de reseñar que, entre solo tres universidades, Universidad de Santiago de Compostela, Universidad de Valencia y Universidad Complutense de Madrid, obtienen casi un 30% de los contratos en el periodo.

Figura 4. Distribución de los contratos FPU por CC. AA. (2000/2018)



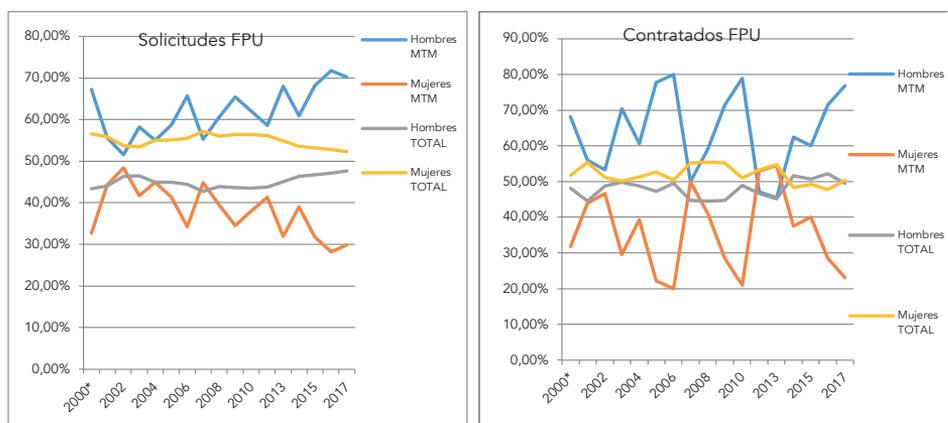
La tasa de personas extranjeras solicitantes en el global del periodo es del 7%, con grandes fluctuaciones por años, entre el 0% y el 20%. Las solicitudes de personas extranjeras crecieron los años más duros de la reciente crisis económica (2007/2012), donde se situaron por encima del 10% y llegaron a rozar el 20%, pero han vuelto a tasas previas a ella, con tendencia en los últimos años a disminuir su presencia, situándose ahora en torno al 5%. La mitad de las solicitudes de extranjeros y extranjeras son de la UE y el resto, fundamentalmente, de América Latina.

En cuanto a las personas beneficiarias, la tasa de extranjeras promedio del periodo es del 3,84%, con tendencia a disminuir en los últimos años, con los tres últimos en el 0%. En el global de las áreas, las tasas de personas extranjeras entre los y las solicitantes y las personas beneficiarias son más altas que en MTM, situándose en valores del 8,6% y el 6,2%, respectivamente. Así pues, la presencia de personas extranjeras en el programa FPU, área MTM, no pasa de ser testimonial. Sobre el origen geográfico de los y las seleccionadas nacionales, el ministerio informa que no se recogen datos.

La distribución por sexos, tanto de personas solicitantes como de beneficiarias, globalmente en todo el periodo, muestra una clara brecha de género, con un sesgo casi 2 a 1 a favor de los hombres: 65% frente a 35% en beneficiarios y beneficiarias y 63% frente a 37% en solicitantes. Esta distribución fluctúa anualmente de manera notable, siendo destacable que en las dos últimas anualidades

se observa que se ha agudizado el desequilibrio tanto en solicitantes como en personas beneficiarias, en este último caso después de un periodo corto de cierto equilibrio. Como dato complementario para la comparación, hay que señalar que en el global de las áreas dominan ligeramente las mujeres tanto en solicitantes como en beneficiarios y beneficiarias, aunque parece tenderse hacia el equilibrio en ambas series.

**Figura 5. Solicitudes y contratos FPU por género (2000/2018)**



A tenor de la información facilitada por el ministerio, el éxito de esta convocatoria en el área MTM es total, en el sentido de que no hay contratos que queden desiertos. Del mismo modo, se indica que no hay datos disponibles sobre abandono sobrevenido de estos contratos, estudio que, según informan, se pretende iniciar en los próximos años.

Las notas de las personas solicitantes y beneficiarias no se recogen en la base de datos de forma sistemática y, por lo tanto, no se pueden estudiar de forma completa. No obstante, podemos ver en las publicaciones oficiales de las resoluciones relativas a la convocatoria la nota exigida cada año para poder concursar (común para todas las áreas de cada una de las cinco grandes ramas del conocimiento) y la nota de corte resultante tras la primera fase. Esta última resulta todos los años muy exigente en MTM, como consecuencia del escaso número de contratos, situándose entre las más altas de todo el programa. Concretamente, en los cuatro últimos años se ha situado entre 8,51 (2015) y 8,76 (2016). En las dos últimas convocatorias analizadas, 2016 y 2017, MTM

ha tenido la segunda nota más alta de todas las áreas ANEP, solo por detrás de Filosofía y Filología.

De la información oficial sobre notas medias mínimas exigidas para la selección por áreas ANEP en la convocatoria 2017 publicada por el ministerio, se desprende que, de las 25 áreas, siete están por debajo de 8 puntos y solo cuatro por encima de 8,5 puntos, entre ellas, MTM. Destaca la diferencia de más de medio punto de MTM con respecto a INF, mientras que solo hay dos décimas respecto a FIS. Hay que hacer notar, que esta nota media mínima para la selección que publica el ministerio es una estimación que se anticipa a partir de lo ocurrido en convocatorias anteriores, para orientar a los y las solicitantes y que resulta fiable por ser muy estable de unas convocatorias a otras. Ciertamente, en el caso de Matemáticas se trata de una nota muy exigente que supera muy poco estudiantado, lo que unido al bajo número de personas egresadas en el periodo en estudio y a las crecientes expectativas profesionales en el mundo de la empresa para los titulados y tituladas en Matemáticas, alimenta el círculo vicioso que conduce a que MTM cuente con muy pocos contratos FPU, al repartirse entre las áreas proporcionalmente al número de solicitudes.

En resumen, desde la comunidad investigadora en matemáticas se debe luchar para revertir la evolución negativa de las cifras de contratos FPU en el área MTM, haciendo valer tanto el carácter estratégico del área en el momento actual, como el hecho diferencial de un área en la que tradicionalmente no se corresponden las necesidades reales del personal investigador que tiene el sistema con la demanda por parte de los y las solicitantes, hecho que venía corrigiéndose en la asignación de plazas hasta el año 2010 para dejar de hacerse con el nuevo modelo del año 2012. Un objetivo razonable puede ser tratar de acercar las cifras de contratos en el área MTM a las de áreas con una cierta afinidad científica como FIS o INF.

#### **2.4. Programa de ayudas para la Formación de Doctores (FPI)**

El programa de Ayudas para Formación de Doctores (FPI, siglas de la anterior denominación Formación del Personal Investigador) es un programa perteneciente actualmente a la Agencia Estatal de Investigación. Este programa, como el programa FPU, tiene ya una larga historia en España y, por su cuantía, constituye en la actualidad la vía más importante de financiación de la formación de investigadores e investigadoras. Los contratos FPI se otorgan

a personal investigador en formación para que realicen una tesis doctoral en el marco de un proyecto de investigación financiado en las convocatorias del Plan Nacional. También se otorgan contratos FPI a proyectos de investigación que se desarrollen en los Centros de Excelencia Severo Ochoa o en las Unidades de Excelencia María de Maeztu. El área de matemáticas ha contado en los últimos años con dos Centros de Excelencia Severo Ochoa (ICMAT y BCAM) y una Unidad de Excelencia María de Maeztu (BGSMath). Las ayudas para contratos FPI vinculadas a los proyectos de investigación, que es la parte más importante del total de ayudas, se han venido distribuyendo en las sucesivas convocatorias por áreas de gestión de proyectos de la anterior Subdirección General de Proyectos de Investigación (SGPI). En el caso de matemáticas, el área se llama MTM y coincide a grandes rasgos con la correspondiente área ANEP homónima.

Parte de los datos que se aportan y analizan en este informe han sido remitidos desde la Agencia Estatal de Investigación. Otros han sido aportados por los centros y unidades de excelencia en matemáticas o extraídos directamente de las correspondientes resoluciones oficiales. Los datos corresponden al periodo 2003/2017 y se refieren tanto a los contratos inicialmente asignados al área MTM a través de los proyectos de investigación seleccionados, como a los asignados a los centros con reconocimiento de Excelencia Severo Ochoa y María de Maeztu. También se tienen datos de los contratos efectivamente materializados, es decir, que consiguieron cubrirse tras la correspondiente convocatoria.

Como se puede ver en la tabla 2, el número de contratos FPI anuales asignados al área MTM ha experimentado un notable crecimiento a lo largo del periodo en estudio. Al inicio del periodo, el área MTM contaba con alrededor de 20 contratos, mientras que este número se sitúa por encima de 40 en las últimas convocatorias. El crecimiento se ha debido tanto al aumento de los contratos asignados a los proyectos financiados, como a la dotación de contratos FPI a los centros de excelencia incorporados en el último tramo de la serie.

En cuanto a los contratos FPI realmente materializados, en consonancia con el aumento de contratos inicialmente asignados a MTM que acabamos de mencionar, los datos disponibles muestran también un notable crecimiento de estos contratos, con un periodo inicial de estancamiento por debajo de 15

contratos, y una aceleración a partir de 2009, no sin notables altibajos, que ha llevado el número de contratos a valores entre 30 y 40 contratos anuales al final del periodo en estudio. El crecimiento comienza en el año 2009, año en el que hubo una mayor dotación de contratos FPI a los proyectos en el área MTM, y se ha ido acelerando con los sucesivos reconocimientos de Centros y Unidades de Excelencia en el área de matemáticas, que comenzaron con el del centro ICMAT (Severo Ochoa, 2011) y continuaron BCAM (Severo Ochoa, 2013) y con BGSMath (María de Maeztu, 2014) y que aportan un número importante de contratos cada año.

Tabla 2. Evolución de los contratos FPI asignados al área MTM (2003/2017)

CONVOCATORIA	FPI MTM Proyectos	FPI MTM Centros de Excelencia			FPI MTM Total	FPI MTM reales	% Fracaso
		ICMAT	BCAM	BGSMath			
2003	19				19	14	26,32%
2004	22				22	11	50%
2005	21				21	16	23,81%
2006	24				24	15	37,50%
2007	24				24	14	41,67%
2008	25				25	12	52%
2009	30				30	23	23,33%
2010	31				31	27	12,90%
2011	30				30	30	0%
2012	28	3			31	27	12,90%
2013	26	8			34	23	32,35%
2014	28	6	6		40	17	57,50%
2015	29	3	6	1	42	38	9,52%
2016	29	6	3	2	42	40	4,76%
2017	34	4	3	2	43	30	30,23%
Total	400	30	18	7	455	337	25,93%
Promedio	26,67				30,33	22,47	25,93%

Lo verdaderamente llamativo es el desfase entre las cifras de ambas series, la de contratos inicialmente asignados al área MTM y los contratos efectivamente materializados, que muestra con crudeza la importante pérdida anual de financiación y de recursos humanos en términos de jóvenes investigadores e investigadoras en formación que no llegan a incorporarse por las disfunciones

del sistema de convocatoria y asignación de los contratos a candidatos. Como comentaremos más adelante, este sistema falla estrepitosamente de manera particular en el área MTM, seguramente debido a una cierta escasez de candidaturas en el área MTM en relación con otras áreas. En efecto, los datos disponibles muestran que un buen número de contratos inicialmente dotados no consiguen materializarse y las tasas de fracaso (porcentaje de contratos no cubiertos) de esta convocatoria son verdaderamente alarmantes, con un promedio cercano al 26% en el periodo y llegando a superar el 50% en algunas convocatorias.

El número de solicitantes anual de los contratos FPI es muy variable, oscilando desde en torno a 50 hasta casi 200, con un promedio de 105 solicitantes por año en el periodo en estudio. Buena parte de la variabilidad es, sin duda, atribuible a la falta de regularidad en las fechas anuales en las que se realizan las convocatorias y a la falta de sincronización con otros procesos y convocatorias relacionados, como el propio inicio de los proyectos de investigación a los que se vinculan la mayoría de los contratos, la convocatoria de los contratos FPU, los inicios/ finales de cursos académicos, etc.

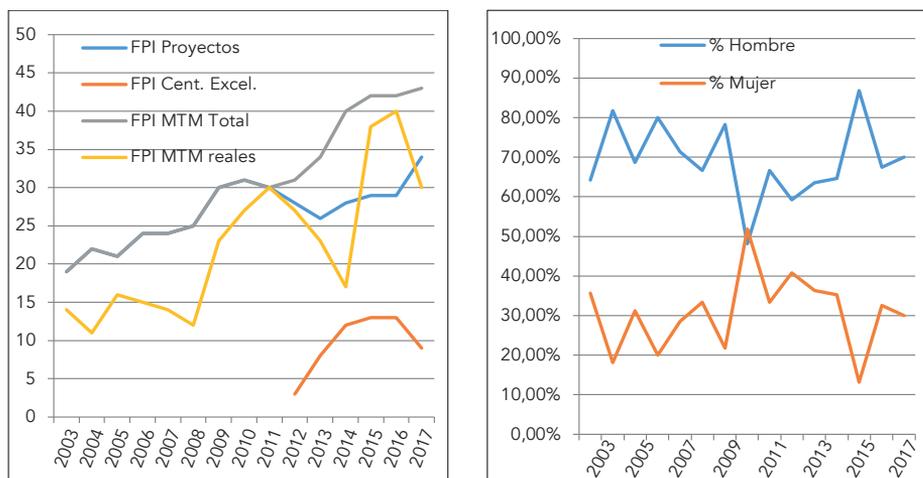
La tasa de éxito en la convocatoria, entendida como la razón entre los estudiantes que solicitan y los que consiguen los contratos, se sitúa en torno al 21,5% como promedio del periodo, si bien ha ido en aumento situándose por encima del 30% en los últimos años, como consecuencia tanto del aumento de los contratos como de la escasez de solicitantes. No se dispone de datos globales de todo el programa o de otras áreas que sirvan de elemento de comparación. La tasa de abandono calculada con los datos hasta 2014, es decir, considerando solo las convocatorias para las que los contratos ya estarían concluidos, a fecha de la recogida de datos, está en torno al 27%, que es una tasa muy elevada.

**Tabla 3. Evolución de los contratos FPI (2003/2017)**

CONVOCATORIA	FPI MTM	Solicitudes	% Éxito	% Mujeres	Abandonos	% Abandono
2003	14	93	15,05%	35,71%	7	50%
2004	11	71	15,49%	18,18%	8	72,73%
2005	16	83	19,28%	31,25%	3	18,75%
2006	15	56	26,79%	20%	2	13,33%
2007	14	55	25,45%	28,57%	7	50%
2008	12	47	25,53%	33,33%	3	25%
2009	23	136	16,91%	21,74%	7	30,43%
2010	27	132	20,45%	51,85%	3	11,11%
2011	30	175	17,14%	33,33%	3	10%
2012	27	199	13,57%	40,74%	8	29,63%
2013	23	93	24,73%	36,36%	6	26,09%
2014	17	60	28,33%	35,29%	4	23,53%
2015	38	152	25%	13,16%	3	7,89%
2016	40	132	30,30%	32,50%	0	0%
2017	30	84	35,71%	30%	0	0%
Total	337	1568	21,49%	30,95%	64	18,99%
Promedio	22,47	104,53	21,49%	30,95%	4,27	18,99

La distribución de los contratos por sexos se inclina 7 a 3 hacia los hombres, tanto en solicitantes como en beneficiarios y beneficiarias, mostrando una brecha de género aún más clara que en el caso de los contratos FPU.

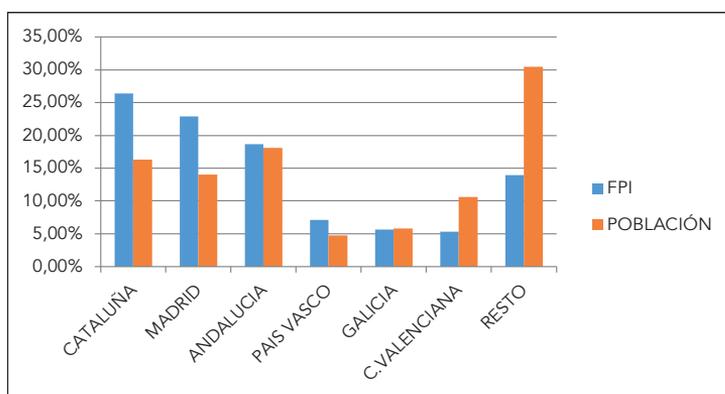
**Figura 6. Evolución de los contratos FPI (2003/2018) y distribución por género**



La tasa de personas extranjeras en el programa en MTM ronda el 20%, porcentaje que ha permanecido razonablemente estable en el periodo en estudio. El 50% de este personal investigador procede de América Latina, el 36%, de países de la Unión Europea y apenas un 14% tiene otras procedencias.

La distribución por CC. AA. está influenciada por el efecto de los centros de excelencia (Severo Ochoa y María de Maeztu), con una sobrerrepresentación de Cataluña, Madrid y País Vasco y una infrarrepresentación de las comunidades autónomas que no tienen centros de excelencia o con menos tradición y potencia en MTM.

**Figura 7. Porcentaje becas FPI/porcentaje población CC. AA.**



Dejando al margen, por su carácter singular, las dotaciones de contratos FPI a centros y unidades de excelencia, la comparación del área MTM con otras áreas próximas desde el punto de vista científico, como física e informática, observamos que MTM está en niveles similares de dotación que informática (considerando conjuntamente el área de Tecnologías Informáticas-TIN y el área de Tecnologías para la Sociedad de la Información-TSI) y que física (considerando el área de Física-FIS e investigación Espacial-ESP y no incluyendo el área de Astronomía y Astrofísica-AYA). En las tres áreas el número de contratos está en torno a 30 en los últimos años. Concretamente, en 2017, MTM tuvo 34 contratos, TIN+TSI 33 y FIS+ESP 32. Por otra parte, estos números de contratos anuales para proyectos MTM representan más del 3% del total de la convocatoria. Concretamente, el 3,7% en 2017, sobre un total de 901 contratos. Así pues, en esta convocatoria, la situación del área MTM es objetivamente mejor que en la convocatoria FPU, en la que MTM apenas representa un 1,6% y está muy por debajo de otras áreas próximas científicamente.

Lo verdaderamente preocupante es que una parte importante de esta ventaja inicial del área MTM en la convocatoria FPI respecto a la FPU desaparece luego por la incapacidad de cubrir una parte importante de los contratos disponibles en MTM y por los abandonos posteriores que se registran.

Según información recibida de la Subdirección General de Recursos Humanos en el año 2016, la circunstancia de que un proyecto acabe quedando vacante puede ser considerada como *residual* en el global de la convocatoria. Por ejemplo, en la convocatoria 2015 (proyectos de la convocatoria 2014), se convocaron un total de 1.014 ayudas, de las cuales en la primera resolución se adjudicaron 938 y en el proceso de repesca se adjudicaron otras 52. En total, 990 contratos concedidos, que representaban el 97,6% de las ayudas convocadas, quedando vacantes solo 24 ayudas (algunas de ellas, además, de proyectos con más de una ayuda y, por tanto, más difíciles de cubrir). Así pues, poco más del 2% de proyectos se quedaron vacantes en el global de la convocatoria. Buena parte de esa cantidad *residual* de contratos desierto se concentran en el área MTM, asunto que debe mover a la reflexión a la comunidad de investigadores en matemáticas y a la propia Subdirección General de Recursos Humanos para buscar fórmulas que resuelvan este desajuste, porque el área MTM necesita este capital humano de jóvenes investigadores e investigadoras que se pierde cada año.

Como una cuestión cualitativa, no solo cuantitativa, la información recabada sobre las circunstancias de los distintos proyectos MTM afectados por la pérdida de contratos predoctorales por falta de candidaturas, muestra que el fracaso en cubrir estos contratos afecta de manera transversal al área MTM, en el sentido de que los proyectos que acababan perdiendo su contrato pueden ser tanto de grupos muy potentes como de otros más modestos en número de personal investigador, de grupos pertenecientes a grandes universidades como de otras universidades más pequeñas, etc.

## **2.5. Financiación de los doctorandos en Matemáticas-Estadística**

El estudio sobre la financiación de los doctorandos actuales en Matemáticas y Estadística que presentamos se basa en datos recabados a través de la red de delegados y delegadas de la RSME en las distintas universidades españolas. En el mes de noviembre de 2018, la real sociedad inició el proceso de recogida de información sobre los programas de doctorado del ámbito de matemáticas y estadística existentes en las universidades españolas, al objeto de estimar el número de estudiantes, su distribución por sexos y, sobre todo, las fuentes de financiación con las que cuentan. Para facilitar la estandarización de las respuestas, se diseñó previamente un cuestionario al efecto. Las respuestas se han recogido entre noviembre de 2018 y marzo de 2019, habiéndose recibido información de 33 programas de doctorado, pertenecientes a 27 universidades públicas diferentes.

Según datos oficiales del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades ofrecidos en abierto en su sitio web, en la actualidad existen en España 30 universidades que imparten programas de doctorado con códigos ISCED 0541-Matemáticas, 0542-Estadística o 0549-Matemáticas y Estadística (otros estudios), por lo que el nivel de respuesta al cuestionario ha sido muy importante y la mínima falta de respuesta corresponde a universidades con escaso peso en el área de matemáticas. Por otra parte, las fuentes utilizadas por los delegados y delegadas de la RSME se consideran completamente solventes y fiables.

Hay que añadir a lo anterior que el listado de programas de los que han enviado información las delegaciones de la RSME se ha cruzado también con el listado extraído de la web del Registro de Universidades, Centros y Títulos (RUCT), según la cual hay 28 programas de doctorado en vigor en este momento en España que contienen en su título alguno de los términos ‘Matemática/s’, ‘Estadística’ o

‘*Data Science*’, excluyendo los enfocados a la didáctica de estas ciencias. Nótese que la única clasificación científica de los títulos que ofrece este Registro es la de su adscripción a una de las cinco grandes ramas del conocimiento, sin dar más detalles como los códigos ISCED asociados.

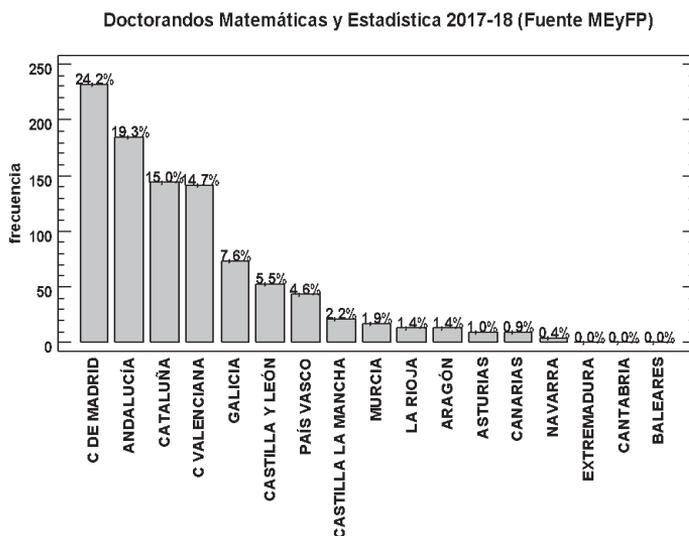
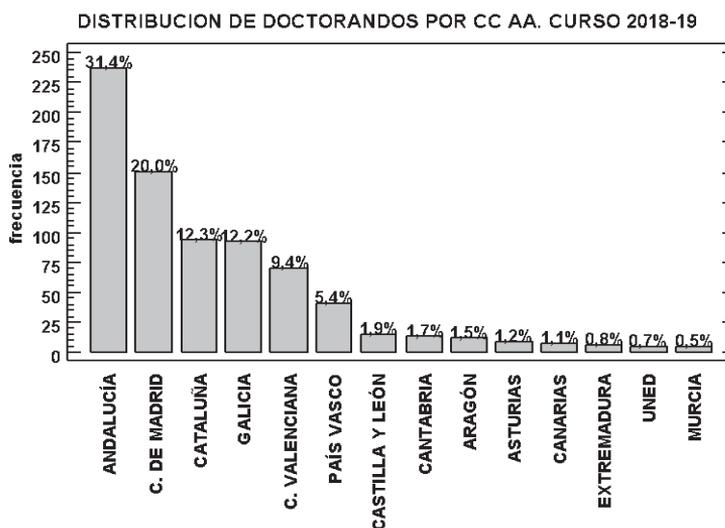
Es de señalar también que el momento actual está marcado por la dificultad de muchas universidades para poder poner en marcha programas de doctorado genuinos de matemáticas/estadística a causa de la escasez de estudiantes. Por esta razón, es una práctica frecuente agrupar áreas científicas diversas bajo el mismo programa de doctorado para poder tener un número mínimo de alumnado que permita su viabilidad administrativa. De este modo, la clasificación de los programas a través de los códigos ISCED es una tarea complicada ya que, en muchos casos, conviven bajo el mismo nombre varios “subprogramas” que corresponden a códigos ISCED muy diversos. Otra razón que complica esta clasificación es la creciente interdisciplinariedad de muchas líneas de investigación de las matemáticas y la estadística en campos aplicados o fronterizos con otras ciencias. Por todas las razones anteriores, es de valorar la adecuación de la metodología de recogida de datos *ad hoc* para este estudio.

Los datos recogidos de los 33 programas de doctorado de 27 universidades agrupan a un total de 755 estudiantes matriculados y matriculadas, mostrando una fuerte asimetría en la distribución por sexos, similar a la que aparece en otros pasajes de este estudio, con un 70,46% de hombres (532) y un 29,54% de mujeres (223). Estos datos, en cuanto al total de estudiantes, son razonablemente consistentes con los datos oficiales del ministerio que se muestran en el apartado dedicado a los títulos de doctorado. Hay que tener en cuenta que estos datos oficiales de estudiantado matriculado en programas de doctorado de universidades españolas, aunque otorgan cifras más altas de doctorandos, están afectados por sesgos ya comentados derivados de las dificultades para clasificar numerosos programas de doctorado.

En la distribución de los estudiantes por comunidades autónomas, llama la atención el elevado peso de Andalucía y de Galicia, muy por encima de su peso en la distribución de la población española, así como el bajo peso de Cataluña en relación con su población y a su importancia en el panorama de las matemáticas españolas. En la figura 8 (izquierda) se muestra la distribución por CC. AA. de los doctorandos estudiados. A la derecha se muestran datos sobre el total de doctorandos reconocidos por el ministerio en Programas con códigos ISCED 0541-Matemáticas, 0542-Estadística o 0549-Matemáticas y Estadística (otros estudios) en el curso 2017-18, que es el último curso disponible y que es solo

un año anterior al que se ha utilizado por la RSME para la recogida de datos. El total de estudiantes “oficiales” es 960, frente a los 755 estimados en este estudio a partir de los cuestionarios de la RSME. El número total y la distribución por CC.AA. muestran una cierta discrepancia motivada por la dificultad para clasificar los Programas de Doctorado en Códigos ISCED.

Figura 8. Distribución de los doctorandos estudiados por CC. AA.



Fuente: RSME (arriba) y MEyFP (abajo).

En cuanto al origen de la financiación, que era el principal interés de la encuesta realizada, los datos recogidos muestran que aproximadamente un 45% de las y los estudiantes de doctorado se financian a través de los diversos programas públicos existentes para este fin: Un 12,58%, con contratos predoctorales de formación de profesorado universitario (FPU) del actual Ministerio de Educación y Formación Profesional; un 16,89%, con las ayudas para la contratación de personal investigador en formación (FPI) de la Agencia Estatal de Investigación; y un 15,76%, con contratos predoctorales autonómicos o de las propias universidades. De estos últimos poco podemos añadir, ya que no han entrado en el estudio sistematizado de este trabajo, aunque es importante señalar que existe una descoordinación importante entre convocatorias paralelas o similares de diferentes CC. AA. y distintas administraciones. Un 7,81% de los y las doctorandas están contratados en el departamento en el que realizan la tesis doctoral. Dado el perfil de financiación de las universidades y grupos de investigación en España, muy probablemente, esos contratos sean en el marco de algún proyecto de investigación liderado por el grupo que acoge al doctorando o con cargo a fondos obtenidos a través de contratos de transferencia, consultorías y asesoramientos a instituciones públicas y privadas. Es de señalar que solo un 5,3% de los doctorandos cuentan con financiación privada, mientras que en torno a un 14% tienen otras fuentes de financiación, en algunos casos fuentes extranjeras para realizar tesis en cotutela. Finalmente, un importante 27,81% del alumnado no cuentan con financiación específica que les ayude a sufragar los gastos del doctorado. Dadas las fechas en las que se lanzó el proceso de recogida de datos, es de suponer que buena parte de este estudiantado sin financiación son de primer curso y están en realidad a la espera de alguna convocatoria de ayudas públicas o privadas (o de su resolución) que, en muchos casos, se caracterizan por la falta de sincronía con los ritmos de los cursos académicos. Es importante señalar que no se observan diferencias reseñables en la distribución de las fuentes de financiación por sexos, siendo la diferencia más notable la de los contratos en el departamento, que tienen un peso más importante en las mujeres.

**Tabla 4. Distribución de los doctorandos por fuente de financiación y género, curso 2018/2019**

Tipo de financiación	Doctorandos	Hombres	Mujeres	% General	% Hombres	% Mujeres
Beca FPU	95	66	29	12,58	12,41	13
Beca FPI	126	94	32	16,69	17,67	14,35
Beca Universidad	58	44	14	7,68	8,27	6,28
Beca regional/autonómica	61	39	22	8,08	7,33	9,87
Beca de entidad privada	40	31	9	5,30	5,83	4,04
Contrato departamento	59	34	25	7,81	6,39	11,21
Sin financiación	210	151	59	27,81	28,38	26,46
Otras fuentes	106	73	33	14,04	13,72	14,80
Total matriculados	755	532	223	100	100	100

*Fuente:* RSME.

Como conclusiones más importantes del estudio, cabe decir que las becas predoctorales públicas (en el momento actual contratos) para la formación del personal investigador son la principal fuente de financiación de los programas de doctorado de Matemáticas analizados en esta muestra (contratos FPU y FPI, tanto de convocatorias nacionales como regionales o de las propias universidades). La financiación de doctorandos a través de contratos con cargo a departamentos universitarios es en este momento muy baja y supone apenas un 7,81% de las y los matriculados. La financiación privada es muy escasa, suponiendo apenas un 5% de los doctorandos, lo que pone de manifiesto la necesidad de que los grupos de investigación trabajen para identificar fuentes de financiación externas y estables que les permitan contar con ingresos suficientes y de carácter regular para la financiación de la realización de las tesis doctorales del amplio grupo de doctorandos que aparecen sin financiación en el estudio.

## **2.6. Financiación privada predoctoral en matemáticas-estadística.**

### **El programa de la Obra Social “la Caixa”**

La financiación de la investigación en España a cargo de entidades privadas no cuenta con muchas aportaciones. El programa de becas de “la Caixa” es el más importante de los que promueven este tipo de entidades, tanto por el número de becas convocadas como por el rigor en el proceso de selección, la variedad de las disciplinas y la dotación económica de las becas. Desde el año 1982, la

Obra Social “la Caixa” convoca anualmente un programa de becas dirigido a estudiantes que quieran ampliar su formación realizando estudios de posgrado. Tiene tres líneas de financiación:

- Becas de posgrado en el extranjero, incluyendo Europa, América del Norte y la zona de Asia-Pacífico. Estas becas están destinadas a financiar estudios de máster e investigación predoctoral.
- Becas de doctorado en España y Portugal: Doctorado INPhINIT.
  - Incoming: becas de doctorado para personal investigador que quiera llevar a cabo su proyecto de doctorado en centros de investigación acreditados con el sello de excelencia español Severo Ochoa o María de Maeztu o en el Instituto de Salud Carlos III y unidades portuguesas acreditadas como “excelentes” o “excepcionales”, según la evaluación de la Fundação de Ciência e Tecnologia.
  - Retaining: becas de doctorado para personal investigador que quiera llevar a cabo su proyecto de doctorado en cualquier ámbito de investigación y cualquier universidad o centro de investigación en España o Portugal.

De acuerdo con la información remitida por la Fundación La Caixa, en el área de matemáticas se presentaron en el periodo 2013/2018 un total de 334 solicitudes entre todos los programas, de las que 311 corresponden a los programas predoctorales objeto de esta sección. Del total de las 334 solicitudes presentadas en el periodo, casi un 53% de las solicitudes fueron presentadas para realizar estudios de posgrado, un 40% para estudios de doctorado en centros españoles o portugueses y apenas un 6,89% para contratos posdoctorales. Esta desigual distribución por tipo de beca se debe fundamentalmente a que el programa posdoctoral es muy reciente, ya que estas ayudas posdoctorales comenzaron a convocarse en el año 2017.

Centrándonos en las ayudas predoctorales, como se muestra en la tabla 5, el total de solicitudes presentadas en el periodo fueron 311, de las que casi un 57% corresponden a posgrado y el restante 43%, a doctorado. El número de solicitudes se ha incrementado sensiblemente desde la convocatoria 2017 al incorporarse el programa específico para los centros de excelencia. En las dos últimas convocatorias, el total de solicitudes se acerca a las 70 anuales.

**Tabla 5. Evolución de las ayudas predoctorales solicitadas a la Caixa y concedidas, por tipo de programa**

Ayudas solicitadas	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Total	%
Postgraduate studies in European universities								
Ayudas solicitadas	23	15	28	27	18	24	135	43,41%
Ayudas concedidas	4	3	4	4	3	2	20	46,51%
Postgraduate studies in N. America and Asia-Pacific								
Ayudas solicitadas	8	6	7	3	10	8	42	13,50%
Ayudas concedidas	3	3	1		1	2	10	23,26%
Total Ayudas Postgrado								
Ayudas solicitadas	31	21	35	30	28	32	177	56,91%
Ayudas concedidas	7	6	5	4	4	4	30	69,77%
INPhINIT_Incoming: Doctorate in Spanish Research Centers of Excellence								
Ayudas solicitadas					21	18	39	12,54%
Ayudas concedidas					3	5	8	18,60%
INPhINIT_Retaining: Doctorate at Spanish universities and research centers								
Ayudas solicitadas	20	13	22	3	18	19	95	30,55%
Ayudas concedidas	2		1		2		5	11,63%
Total Ayudas Doctorado								
Ayudas solicitadas	20	13	22	3	39	37	134	43,09%
Ayudas concedidas	2		1		5	5	13	30,23%
Total general								
Ayudas solicitadas	51	34	57	33	67	69	311	100%
Ayudas concedidas	9	6	6	4	9	9	43	100%
Tasa de éxito	17,65%	17,65%	10,53%	12,12%	13,43%	13,04%	14,47%	

Del total de las 43 ayudas predoctorales concedidas en el área de matemáticas en el periodo, casi un 70% fueron destinadas a financiar *Ayudas de postgrado*, un 30%, a *Ayudas para la realización del doctorado* en centros españoles o portugueses. Esta desigual distribución de becas conseguidas en los dos niveles en estudio en este apartado se debe en parte al número de becas que se convocan en cada programa, así como al hecho de que parte del programa de ayudas doctorales, el correspondiente a los centros de excelencia, comenzó en 2017. Así, en la última convocatoria de *Ayudas para Estudios de Postgrado*, la Fundación la Caixa convocó 75 becas para cursar estudios de posgrado durante el curso

2019/2020, de las que 4 recayeron en Matemáticas y 65 becas de doctorado, de las que 5 recayeron en Matemáticas.

La tasa de éxito promedio en el global del periodo y en el conjunto de las convocatorias se sitúa en el 14,47%, con oscilaciones anuales del 10% al 17%.

La tónica general en cuanto a la distribución por géneros mantiene un patrón similar al de otros programas de financiación pública: del total de solicitudes presentadas, un 75,45% fueron hombres, frente a un 24,25% de solicitantes femeninas. En cuanto a las becas concedidas, un 71,11% fueron otorgadas a hombres y un 28,89%, a mujeres.

## **2.7. Tesis doctorales en Matemáticas-Estadística**

El estudio realizado sobre las tesis doctorales en Matemáticas y Estadística en este informe se nutre de datos oficiales ofrecidos en abierto por dos organismos estatales: el Instituto Nacional de Estadística (INE) y el actual Ministerio de Educación y Formación Profesional. El INE fue el organismo encargado de recoger y organizar estos datos hasta el curso 2010/2011, cuando tomó el relevo el Ministerio de Educación, que comenzó realmente a recoger y organizar estos datos desde el año 2008. Así pues, hay varios años en los que se solapan las dos fuentes estadísticas. Desgraciadamente, el cambio de organismo encargado de la estadística supuso también un cambio de metodología en cuanto a las fuentes y criterios de recogida de los datos, por lo que podemos hablar de dos series de datos muy diferentes y, como veremos, difícilmente conciliables.

En efecto, el INE confeccionaba esta estadística de tesis doctorales con los datos obtenidos mediante cuestionario remitido a las universidades cada curso académico, dentro de un programa de recogida de datos llamado Estadística de la Enseñanza Universitaria, Titulaciones oficiales de Tercer Ciclo, por el que se recababan, entre otros, los datos de “Tesis doctorales leídas”. Los datos se ofrecen en el sitio web del INE aportado en las referencias. El relevo en la elaboración de esta estadística en 2008 por el Ministerio de Educación y Formación Profesional supuso un cambio radical de metodología, al pasar a extraer la información de la Base de Datos de Tesis Doctorales TESEO, que recoge información de las tesis que se leen en las universidades españolas (“Tesis Doctorales Aprobadas”). Las tesis doctorales se clasifican por “Ámbito de estudio” según la clasificación internacional de educación (ISCED). Como en

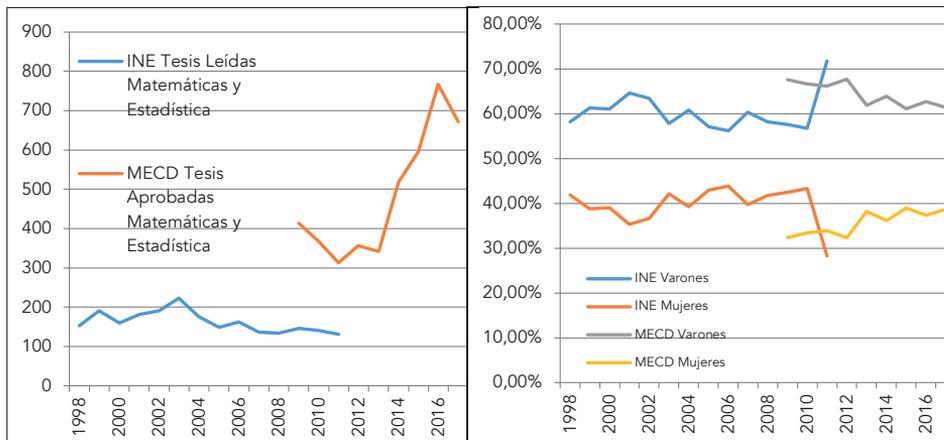
otras partes de este informe, se han considerado los códigos 0541-Matemáticas, 0542-Estadística y 0549-Matemáticas y Estadística (otros estudios). Como una tesis puede tener asociados distintos ámbitos de estudio, el ministerio informa de que cada tesis se ha relacionado con el ámbito principal. En realidad, ofrece datos de tesis doctorales desde el año 2008, si bien ese año las tesis se clasifican por la licenciatura de origen de los y las doctorandas y son poco homologables a los de los siguientes años, por lo que no se han incluido en el estudio. Los datos se ofrecen en el sitio web del ministerio, aportado en las referencias.

Como se puede ver en la tabla y los gráficos que se aportan, llama mucho la atención la disparidad de los datos según las dos fuentes, lo que se hace especialmente patente en el corto periodo en el que se solapan las informaciones ofrecidas por ambas. Ante la imposibilidad de obtener una explicación a estas discrepancias desde los organismos correspondientes, nos inclinamos por imaginar una realidad diferente de la que reflejan ambas fuentes y seguramente situada entre ambas. Da la sensación de que el sistema de recogida de datos de la época INE podría haber estado dejando fuera del recuento una parte importante de las tesis por una respuesta incompleta de las universidades, ya que un número anual de tesis doctorales en Matemáticas y Estadística, en torno a 150, en buena parte del periodo, parece poco creíble por insuficiente. Por otra parte, el sistema de recogida de datos actual del ministerio a través de TESEO puede estar imputando a matemáticas/estadística un número importante de tesis que no se corresponden realmente a ese perfil, ya que, a todas luces, el panorama que dibujan, con un número de tesis doctorales en torno a 700 en los últimos años, no parece creíble por excesivo, pues no concuerda ni siquiera con los números de matrícula de los Programas de Doctorado con los códigos ISCED de Matemáticas y Estadística. No obstante, hay que tener en cuenta que el periodo 2013/2017 está afectado por el efecto del ultimátum establecido para defender las tesis doctorales procedentes de programas en extinción tras la entrada en vigor del Real Decreto sobre estos estudios en 2011. Esta discrepancia entre las fuentes de datos es verdaderamente lamentable, ya que se trata de datos “oficiales” ofrecidos en abierto por la propia Administración General del Estado y al objeto de que sirvan de base no solo para el análisis, la investigación y la reflexión, sino también para la toma de decisiones en política educativa, política científica, etc. Por terciar en esta discrepancia, queremos aportar también datos de una estadística que elabora anualmente la Real Sociedad de Matemáticas y que se publica en la Gaceta de la RSME desde el año 2011 (datos entre los años 2000 y 2017) con datos recogidos a través de

los delegados de la RSME en las distintas universidades y algunos responsables de programas de doctorado. Este recuento incluye también tesis de Didáctica de la Matemática recopiladas a través de la información recogida por la Sociedad Española de Investigación en Educación Matemática. En los años para los que existe información de esta fuente, el número de tesis doctorales ha ido creciendo desde 144 (año 2010) hasta 230 (año 2016), para disminuir a 200 en 2017. Las universidades que aportan datos para el estudio han ido creciendo desde 34 en 2010, hasta 41 en los dos últimos años. Así pues, estos números se sitúan a caballo entre las dos fuentes oficiales en los dos años, 2010 y 2011, en los que contamos con las tres fuentes. A partir de ahí, los datos se alejan mucho de las fuentes oficiales del ministerio.

Lo que sí que puede analizarse, suponiendo que el sesgo de los datos sea propio de la metodología y razonablemente común a toda la serie de datos, es la tendencia que muestran los mismos, con un cierto estancamiento hasta el año 2003, momento en que comienza un declive paulatino que coincide con la crisis de vocaciones en el ámbito de las matemáticas, que se traslada en ese momento desde los estudios de licenciatura a los de doctorado. Este declive se muestra en las dos series hasta 2013, para comenzar un despegue importante en 2014. Este despegue no es aún achacable a la revitalización de la afluencia de estudiantes a las titulaciones universitarias de grado y máster en Matemáticas o Estadística, ya que esta comienza a tener cierta entidad en el curso 2014/2015 en cuanto al número de personas egresadas, con lo que su efecto en el doctorado está aún por llegar dado el desfase de 4-5 años entre la finalización de ambas etapas formativas. Así pues, aparte del sesgo al alza que parecen tener estructuralmente los datos, los elevados números del periodo 2014/2017 solo pueden explicarse a partir del aluvión de tesis doctorales que produjo el ultimátum que se dio a los estudiantes con tesis iniciadas en programas de doctorado en extinción al entrar en vigor la actual legislación (Real Decreto 99/2011) que rige los estudios de doctorado. El dato de 2017, algo más bajo, parece concordar con el final de dicho periodo y habrá que esperar a los datos de 2018 para valorar la situación real del momento actual con datos de tesis procedentes exclusivamente de los programas adaptados a la normativa actual.

**Figura 9. Tesis doctorales en Matemáticas/Estadística y distribución por género**



Si cruzamos los datos de estudiantes de doctorado con los de tesis leídas en la etapa donde la fuente es el INE, observamos valores entre el 16% y el 26% para la ratio de tesis leídas por año sobre alumnado matriculado ese mismo año, con una cierta tendencia creciente. Esta ratio no tiene interés en el periodo en el que la fuente es el ministerio, ya que unos años faltan los datos del estudiantado matriculado y otros están afectados por el aluvión de tesis de programas a extinguir. Así pues, habrá que esperar algunos cursos para poder valorar la tasa de éxito de estas enseñanzas en matemáticas y estadística. También se puede observar en los datos disponibles de ambas fuentes un importante desequilibrio de género, con en torno a un 60% de hombres y un 40% de mujeres, desequilibrio que se ve ligeramente agudizado en los últimos años.

Como conclusión, cabe señalar el despegue en los últimos años del número de tesis doctorales, duplicándose prácticamente los números desde el año 2013 a la actualidad, si bien los números absolutos pueden estar incluyendo un porcentaje de tesis doctorales, importante pero indeterminado, mal clasificadas en los códigos ISCED de Matemáticas y Estadística. También cabe señalar el desequilibrio de género de los nuevos doctores y doctoras, a favor de los hombres.

### 3. ETAPA POSDOCTORAL

La etapa posdoctoral del personal investigador más joven podemos dividirla en dos o incluso tres fases. La primera comprende los dos o tres años desde la lectura de la tesis y es quizás la etapa donde se observan mayor escasez de

convocatorias. Es realmente una debilidad de nuestro sistema pues contribuye enormemente a la pérdida de talento. Las convocatorias que hemos analizado de esta primera etapa son: Programa Juan de la Cierva-Formación, Programas Severo Ochoa y María de Maeztu y convocatorias a través de las ayudas ERC obtenidas por investigadores e investigadoras españolas.

En la segunda etapa incluimos las anteriormente mencionadas, excepto el programa Juan de la Cierva-Formación, que es sustituido por Juan de la Cierva-Incorporación.

Finalmente, en la tercera etapa hemos analizado en profundidad el programa Ramón y Cajal.

Como ocurre en el ámbito predoctoral, la financiación de la investigación en España a cargo de entidades privadas también es escasa en el posdoctoral, siendo una excepción el programa de la Obra Social "la Caixa", que es el más importante de los que promueven este tipo de entidades, tanto en el número de becas convocadas como por el rigor en el proceso de selección, la variedad de disciplinas y la dotación económica de cada beca. Se trata de un programa reciente, iniciado en 2018, denominado Posdoctorado Junior Leader y por eso no aparece en este estudio. Sí nos interesa señalar que en ambos subprogramas se ha concurrido desde el área de matemáticas y se ha conseguido obtener algún contrato posdoctoral, lo cual es indicativo de que el área de matemáticas interesa desde el punto de vista científico a La Caixa.

### **3.1. Programa Juan de la Cierva**

En 2004 (BOE de 17 de febrero) se establecieron las bases de concesión de ayudas del Programa Juan de la Cierva, en el marco del Programa Nacional de Potenciación de Recursos Humanos del Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica 2004/2007.

Desde el año 2004 al 2014, las ayudas Juan de la Cierva fueron de tres años de duración, y tenían como objetivo principal responder a un mejor diseño de la carrera científica y potenciar la competencia y selección de las mejores candidaturas. A partir del 2014, se transformaron en dos nuevas actuaciones consecutivas de dos años de duración cada una de ellas y dirigidas a jóvenes con el doctorado: las ayudas para contratos Juan de la Cierva-formación que ya se convocaron en 2013, bajo la denominación ayudas para contratos para

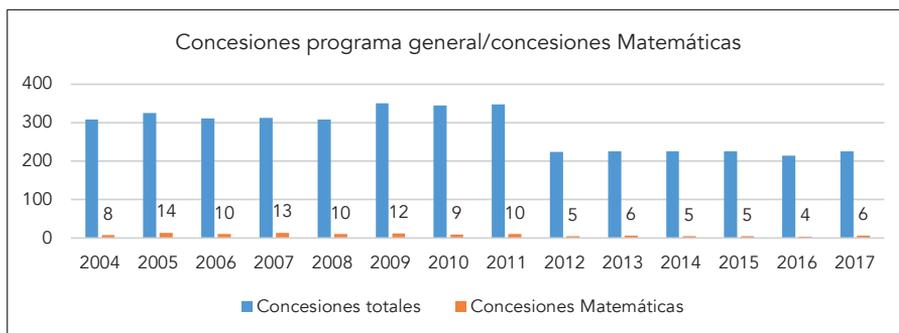
la Formación Posdoctoral, y las ayudas para contratos Juan de la Cierva-incorporación que se convocan por primera vez en 2014.

*a) Programa Juan de la Cierva-Formación*

En particular, y tal y como figura en la página web del ministerio<sup>1</sup>, las ayudas Juan de la Cierva-formación tienen como objetivo fomentar la contratación laboral de jóvenes doctores y doctoras por un periodo de dos años con objeto de que los mismos completen su formación investigadora posdoctoral en centros de I+D españoles distintos a aquellos en los que realizaron su formación predoctoral. Los candidatos, salvo excepciones, deben cumplir el requisito de ser doctor o doctora con una antigüedad máxima de 2 años.

En la figura 10 se puede observar la relación entre las solicitudes y concesiones comparando lo ocurrido en el total de las áreas y en matemáticas en este programa desde el año 2004 hasta el año 2017:

**Figura 10. Relación concesiones totales-concesiones en matemáticas**



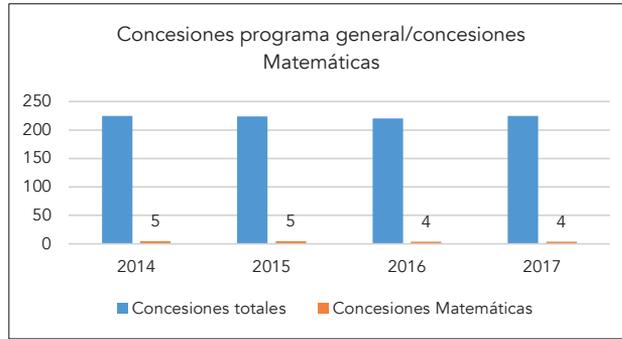
*b) Programa Juan de la Cierva-Incorporación*

Las ayudas Juan de la Cierva-incorporación tienen como objetivo fomentar la contratación laboral, por parte de organismos de investigación o centros de I+D españoles, de jóvenes doctores y doctoras por un periodo de dos años con objeto de que los mismos afiancen las capacidades adquiridas durante una primera etapa de formación posdoctoral.

<sup>1</sup> <https://bit.ly/2YBJCIU>

En la figura 11 se puede observar la relación entre las solicitudes y concesiones comparando lo ocurrido en el total de las áreas y en matemáticas en este programa desde el año 2014 hasta el año 2017:

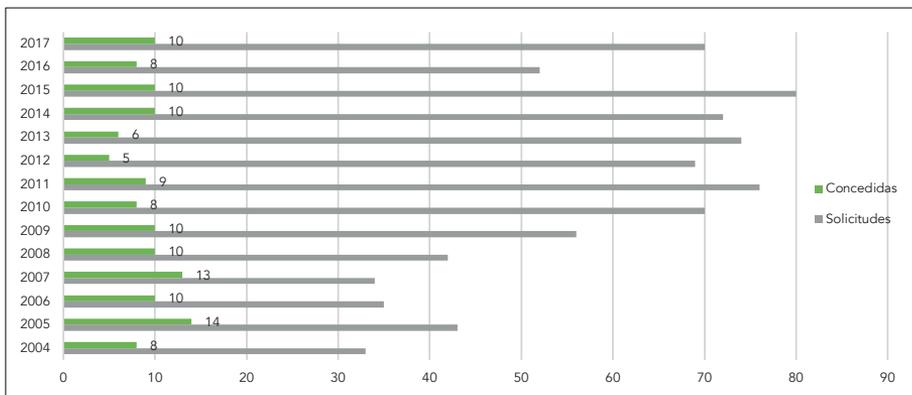
**Figura 11. Concesiones Juan de la Cierva Incorporación**



En ambos casos, tanto en el programa Juan de la Cierva Formación como Incorporación, las solicitudes de participación las presentan los centros de I+D incluyendo en ellas al personal investigador candidato para su incorporación a los equipos de investigación. La selección se fundamenta en un proceso de concurrencia competitiva de los y las candidatas en base a sus méritos curriculares y en el historial científico-técnico del equipo de investigación en el que se quiere integrar.

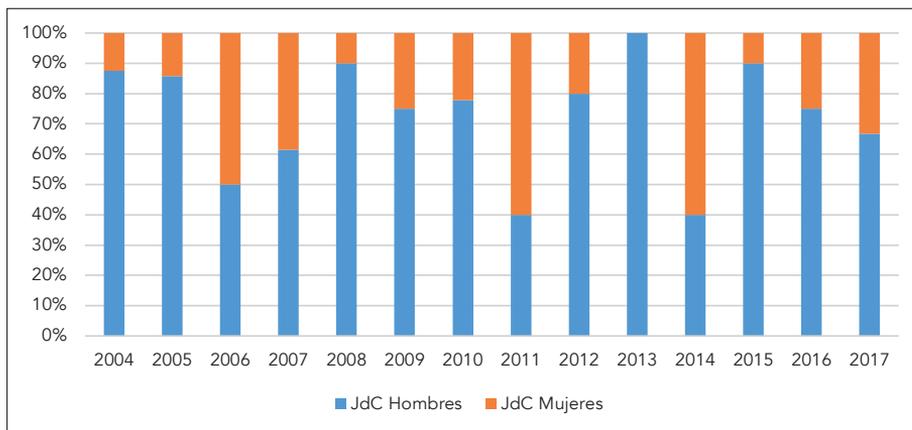
En la figura 12, presentamos el número de solicitudes recibidas cada año (sin distinguir las dos modalidades del programa en los últimos años), así como el número de contratos recibidos.

**Figura 12. Solicitudes y concesiones JdC en matemáticas**



La distribución entre hombres y mujeres entre las plazas concedidas puede observarse en la figura 13:

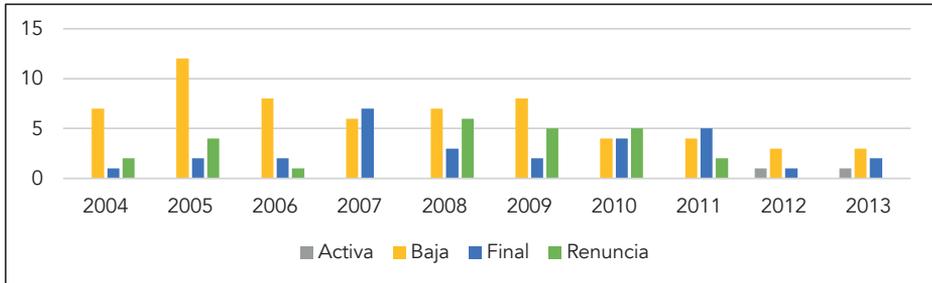
Figura 13. Distribución de contratos JdC por género



Resulta interesante señalar que, en esta primera etapa de Juan de la Cierva, en cuanto al género, en el programa general, un 46,14% de las concesiones son para mujeres, mientras que cuando observamos lo que ocurre en el área de las matemáticas, este porcentaje baja drásticamente al 28,2%. En la segunda etapa del programa Juan de la Cierva se observa que mientras que el 47,31% de las solicitudes del programa en su conjunto son mujeres, en el caso de las matemáticas, aunque baja, la caída es algo menor que en la primera etapa: un 33,33% del total de las concedidas son mujeres.

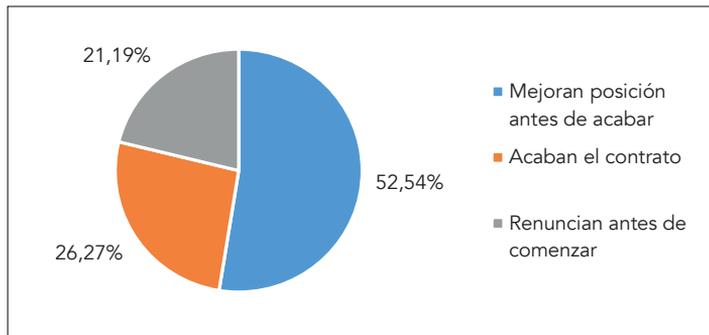
También se ha analizado el número de personas contratadas que agotan el contrato como Juan de la Cierva o si por el contrario renuncia a este para mejorar sus condiciones laborales. Las que aparecen como activas son las que no habían finalizado en el momento del análisis, las que aparecen como baja son en las que ha habido renuncia para optar a una posición mejor; las que aparecen como renuncia son las que no llegaron a incorporarse al contrato y las que aparecen englobadas dentro de final son las que el candidato ha finalizado por completo el contrato.

Figura 14. Estado de las JdC concedidas por año



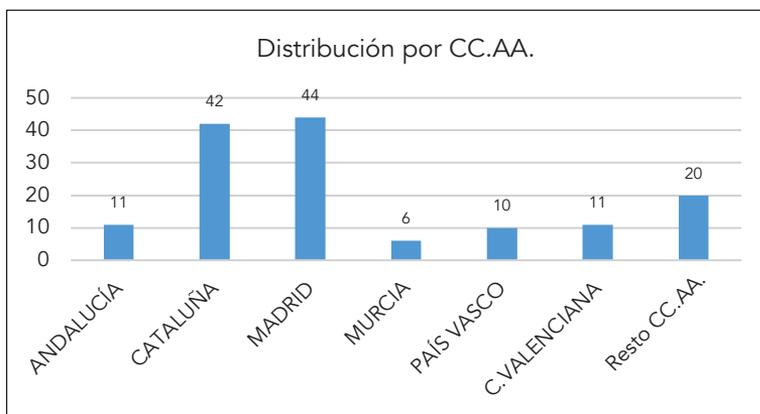
Es interesante observar cómo en este caso algo más de 5 de cada 10 investigadores e investigadoras que consiguen un contrato Juan de la Cierva mejoran sus condiciones laborales antes de su finalización (observar figura 14) y cómo se ve el efecto de la crisis en los últimos años, donde el número de bajas disminuye. La figura 15 muestra el promedio de estos datos en los años estudiados.

Figura 15. Porcentaje de JdC que acaban, mejoran o finalizan contrato



En la figura 16 podemos observar cuáles son las CC. AA. que obtienen un mayor número de contratos de este tipo.

Figura 16. Distribución de contratos JdC en las CC. AA.

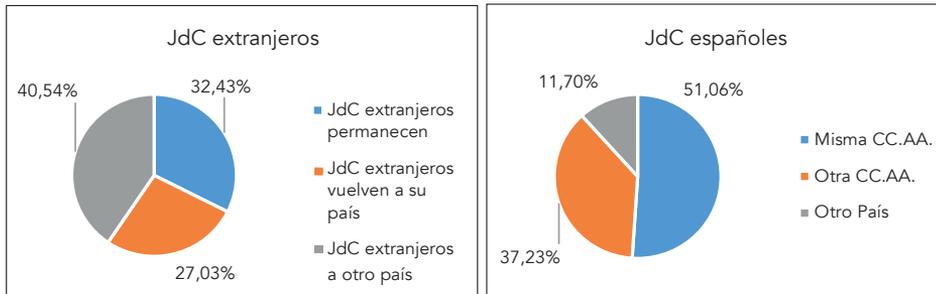


Es destacable que son seis (Asturias, Castilla-La Mancha, Extremadura, Islas Baleares, La Rioja y Navarra) las CC. AA. en las que no se ha disfrutado ninguno de ellos en el tiempo de vida de este programa.

Por otra parte, el programa JdC es una de las vías para la captación de personal investigador joven y extranjero. Desde 2004 hasta 2017, el 28,24% de los JdC provienen de otros países, mayoritariamente de países de la Unión Europea (cabe destacar que Italia, con 13 seleccionados, es el país del que más se nutre este programa), en menor medida de América (EE. UU., Cuba, Argentina y Perú) y de manera simplemente testimonial de países como Rusia, China y Vietnam.

También es interesante observar el comportamiento de los JdC una vez que finalizan su contrato. En la figura 17 se contrastan los datos sobre candidaturas de personas extranjeras que permanecen en nuestro país, personas extranjeras que vuelven a su país de origen, o incluso personas extranjeras que marchan a otros países, y se observa que se obtienen tasas muy cercanas al tercio en cada categoría. Sobre los JdC españoles, el 51,06% permanecen en la misma comunidad autónoma donde obtuvieron el contrato y un 11,70% marcha al extranjero.

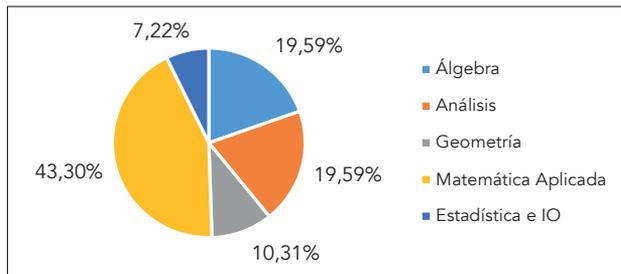
**Figura 17. Destino final de los JdC al finalizar contrato**



Un dato interesante, que queremos resaltar, es que en los años estudiados en este aspecto (2004/2013), el 15,46% de las y los jóvenes investigadores que han disfrutado de un contrato JdC han evolucionado en su carrera profesional con un contrato Ramón y Cajal.

Para finalizar este apartado, damos un pequeño apunte sobre la distribución de los contratos JdC en las distintas grandes áreas de investigación. En general, la distribución sigue el porcentaje de personal investigador en las universidades públicas españolas, a excepción del área de estadística e investigación operativa, donde el número de JdC cae sin una razón evidente. La figura 18 muestra este hecho:

**Figura 18. Distribución de los contratos JdC en áreas de conocimiento**



### 3.2. Ayudas financiadas por las ERC

La actividad fundamental del programa European Research Council (ERC) es proporcionar financiación atractiva a largo plazo para apoyar a investigadores e investigadoras excelentes y sus equipos de investigación para

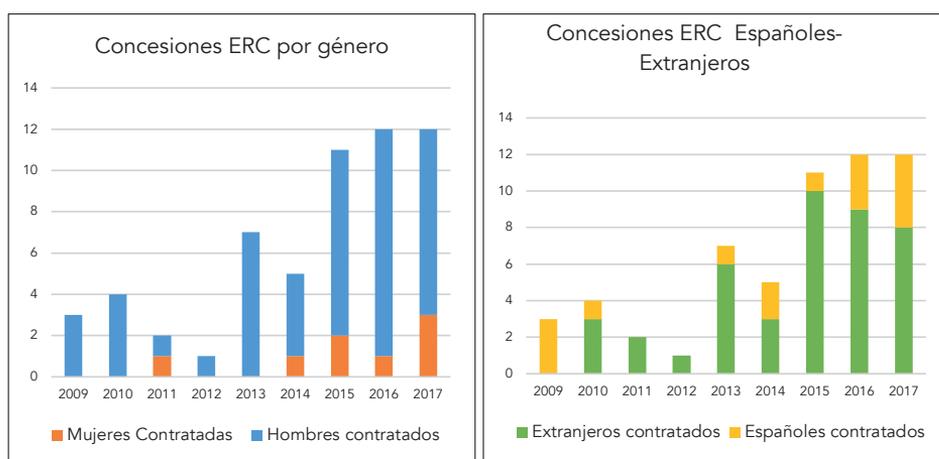
realizar investigaciones innovadoras. Entre las acciones que pueden desarrollarse subvencionadas por la financiación obtenida es importante destacar la oferta de puestos en los estadios de iniciación posdoctoral. En España hay 19 investigadores con una ayuda del programa ERC y las ayudas posdoctorales ofertadas con su financiación se recogen en la siguiente figura 19.

**Figura 19. Solicitudes y concesiones dentro de las ERC**



En cuanto a la distribución por género se observa una importante brecha entre hombres y mujeres que continuará siendo característica a lo largo de todo este capítulo. Por otro lado, vemos que la inmensa mayoría de ayudas son concedidas a personal investigador extranjero.

**Figura 20. Distribución de las ayudas de ERC por género y por país de origen**

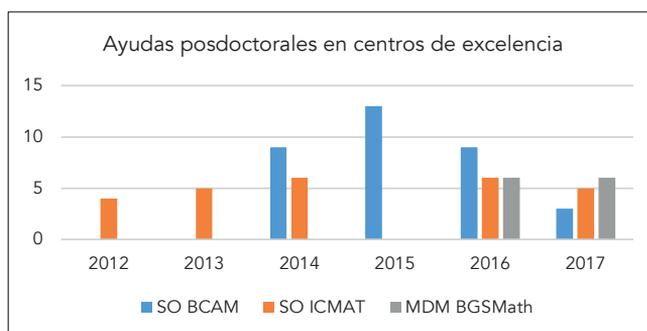


Es importante señalar que siendo la primera etapa posdoctoral la más desprotegida en nuestro país, los contratos posdoctorales con financiación proveniente de ERC para esta primera etapa son un 67% del total, quedando el 33% restante para posdoctorales con experiencia.

### 3.3. Programas Severo Ochoa y María de Maeztu

Los Centros de Excelencia Severo Ochoa y la Unidad de Excelencia María de Maeztu comparten como objetivo incentivar la investigación de las y los jóvenes científicos ofertando diversos programas tanto predoctorales como posdoctorales. A continuación, en la figura 21 se presenta la evolución de las ayudas posdoctorales en los tres centros de los que hemos hablado: ICMAT, BCAM y BGSMath.

Figura 21. Plazas predoctorales y posdoctorales centros y unidades de excelencia



#### a) SO ICMAT

Dentro del Programa Severo Ochoa, el ICMAT ha realizado 7 convocatorias posdoctorales recogidas en la siguiente tabla (consultar la tabla 6 para más información). El índice de participación femenina en las convocatorias entre los años 2012/2014 fue del 22% en las solicitudes, concediéndose, sin embargo, un 27% de las ayudas a mujeres. Estos porcentajes bajan sustancialmente al 17% en las convocatorias de 2016 y 2017 en cuanto a solicitudes y al 18% en concesiones. Respecto a la procedencia de las personas seleccionadas, el 46% del total son extranjeros o extranjeras.

Tabla 6. Programa SO en el ICMAT

Convocatorias Posdoctorales Programa SO	Plazas	Solicitudes	% Mujeres contratadas	% Mujeres solicitantes	% Solicitantes internacional		% Contratados/as internacional	
					EU	No EU	EU	No EU
Call 2012	4	82	25%	23%	29%	22%	0%	25%
Call 2013 posdoc Laboratorios	5	89	20%	13%	43%	35%	20%	40%
Call 2014	6	71	33%	32%	25%	21%	17%	0%
TOTAL POSTDOC CALLS 1 <sup>er</sup> SO (SEV-2011-0087)	15	242	27%	22%	33%	26%	13%	20%
Call 2016	6	144	17%	15%	42%	39%	50%	17%
Call 2017	5	117	20%	18,80%	42,8%	26,5%	60%	40%
Call 2018	10	67	0%	19%	39%	37%	30%	20%
TOTAL POSTDOC CALLS 2 <sup>nd</sup> SO (SEV-2015-0554)	21	328	10%	17%	41%	34%	33%	24%

*b) SO BCAM*

Respecto al BCAM, se han realizado 2 convocatorias predoctorales y 9 posdoctorales desde el 2014 al 2017. En cuanto a las posdoctorales, el índice de participación femenina en las convocatorias fue del 22% en cuanto a solicitudes femeninas llegando a más del 35% respecto a las concesiones a mujeres, siendo por lo tanto la tasa de éxito mayor entre las investigadoras que entre los investigadores. En cuanto a la procedencia de las personas seleccionadas, casi un 65% del total son extranjeras. Los datos de este programa aparecen recogidos en la tabla 7, que se muestra a continuación:

Tabla 7. Programa Posdoctoral SO en el BCAM

Conv. POSDOC	Nº Plazas	Nº Solic.	% Mujeres contratadas	% Mujeres solicitantes	% Solicitantes internacional		% Contratados internacional		
					EU+ES	No EU	ES	EU (No ES)	No EU
2014	9	156	33,33%	17,95%	35,90%	64,10%	44,44%	33,33%	22,22%
2015	13	219	58,33%	38,95%	43,38%	56,62%	23,08%	46,15%	30,77%
2016	9	294	11,11%	25,85%	27,55%	72,45%	33,33%	33,33%	33,33%
2017	3	48	33,33%	16,67%	29,17%	70,83%	66,67%	33,33%	0%
<b>TOTAL POSDOCS</b>	<b>34</b>	<b>717</b>	<b>35,29%</b>	<b>22,04%</b>	<b>34,31%</b>	<b>65,69%</b>	<b>35,29%</b>	<b>38,24%</b>	<b>26,47%</b>

*c) María de Maeztu BGSMath*

En el período de junio 2015 a junio 2018, la BGSMath ha realizado 5 convocatorias posdoctorales. El índice de participación femenina en cada convocatoria ha estado en torno al 22,5%, reduciéndose este porcentaje a un 8,5% en las concesiones. Respecto a la procedencia de los solicitantes y los seleccionados, el porcentaje de solicitudes es principalmente extranjero (entre el 75% y 85%), siendo un 58% de las concesiones para solicitantes extranjeros. Los datos de ambos programas aparecen recogidos en la tabla 8.

Tabla 8. Programa Posdoctoral María de Maeztu en la BGSMath

Convocatorias Posdoctorales	Plazas	Solicitudes	%Mujeres solicitantes	% Mujeres contratadas	% Solicitantes internacional		% Contratados internacional	
					EU	No EU	EU	No EU
2016	6	277	25%	0%	49%	35%	50%	0%
2017	6	93	20%	17%	48%	33%	67%	0%
<b>TOTAL POSTDOCS</b>	<b>12</b>	<b>370</b>	<b>22,50%</b>	<b>8,50%</b>	<b>49%</b>	<b>35%</b>	<b>58%</b>	<b>0%</b>

### 3.4. Programa Ramón y Cajal

Tal y como figura en el BOE núm. 94 del 19 de abril de 2001, “el Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica (I+D+I) (2000/2003), aprobado por Acuerdo del Consejo de Ministros de 12

de noviembre de 1999, tuvo como uno de sus objetivos estratégicos, a través del Programa Nacional de Potenciación de Recursos Humanos, el incremento de recursos humanos cualificados tanto en el sector público como en el privado, así como aumentar la movilidad de investigadores entre los distintos centros. Teniendo en cuenta dicho objetivo, el propósito del Programa Ramón y Cajal es fortalecer la capacidad investigadora de los grupos e instituciones de investigación y desarrollo (I+D), tanto del sector público como del privado, mediante la incorporación de investigadores que hayan obtenido el grado de doctor”.

Así mismo, la descripción general del programa que figura en la página web del ministerio destaca lo siguiente: “Estas ayudas van dirigidas a promover la incorporación de investigadores nacionales y extranjeros con una trayectoria destacada en centros de I+D mediante, por una parte, la concesión de ayudas para su contratación laboral y, por otra parte, la concesión de ayudas para la creación de puestos de trabajo de carácter permanente para su posterior incorporación en los agentes del Sistema Español de Ciencia, Tecnología e Innovación beneficiarios de estas ayudas”.

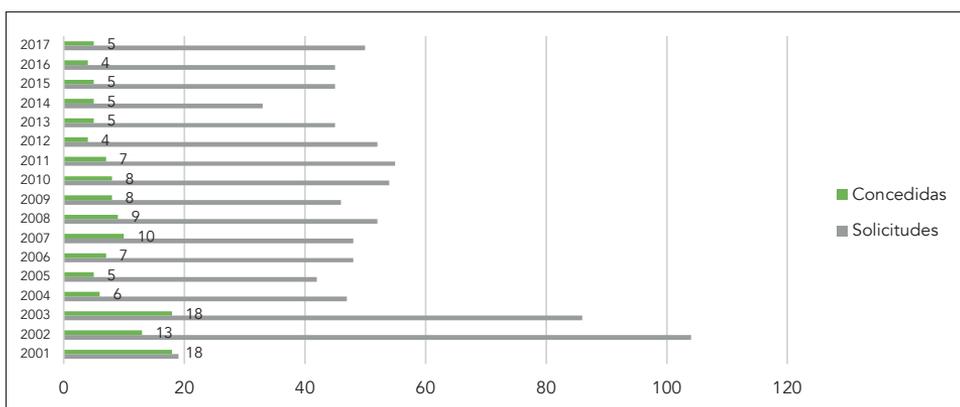
La selección se fundamenta en un riguroso proceso de concurrencia competitiva de los candidatos y candidatas en base a sus méritos curriculares y en base a su capacidad para liderar una línea de investigación, en función de la experiencia científica y profesional, así como de la independencia de su trayectoria.

El programa Ramón y Cajal (RyC) ha jugado, sin lugar a duda, un papel muy importante en la formación de posgrado y posdoctoral en nuestro país en los últimos casi veinte años. Los datos que se han conseguido recabar demuestran que ha sido una herramienta de un éxito indiscutible. Esto significa, además de la riqueza en sí que supone contar con tales investigadores e investigadoras jóvenes que se han formado en nuestro país, que el retorno de la inversión en términos estrictamente utilitaristas ha sido altísimo. Las personas que han pasado por dicho programa constituyen, en estos momentos, una parte esencial del mejor personal investigador en matemáticas. A ellas se deben algunas de las mejores publicaciones en matemáticas, destacando, asimismo, por su reconocimiento internacional y éxito en convocatorias europeas o en las aplicaciones de las matemáticas en diferentes ámbitos.

Adicionalmente, este programa ha permitido que matemáticos y matemáticas extranjeras se incorporen al sistema científico español, algo notablemente difícil de conseguir en el sistema universitario español. Lógicamente esta afirmación hay que apoyarla con los datos disponibles y, por supuesto, matizarla para descubrir aquellos aspectos que son susceptibles de mejora o de corrección.

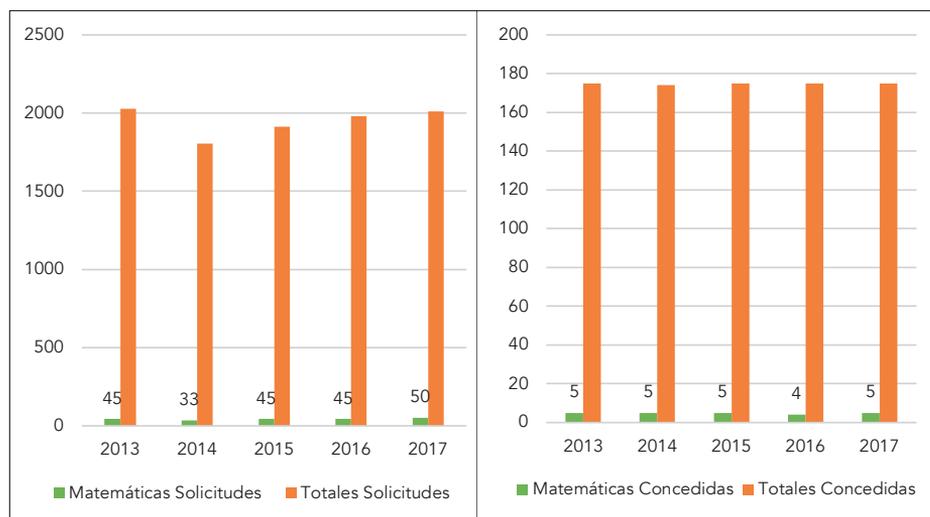
La siguiente figura 22 muestra la evolución de las solicitudes y las concesiones al programa MTM de contratos RyC desde el 2001 al 2017:

Figura 22. Solicitudes y concesiones RyC



Por otra parte, es imprescindible, para conseguir una perspectiva de conjunto, disponer de datos que nos permitan situar nuestro programa MTM en un contexto global sobre las solicitudes y concesiones dentro del programa RyC en matemáticas comparándolos con los datos totales de todas las áreas en su conjunto.

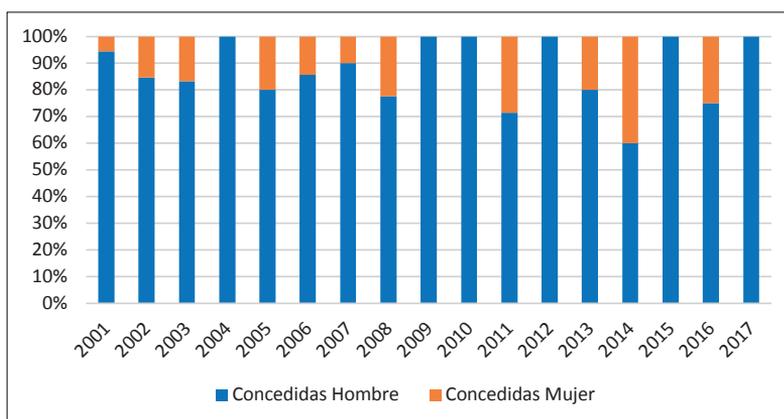
Figura 23. Solicitudes y concesiones en RyC en el programa global y en el de matemáticas



En estos cinco años, la tasa de éxito del programa RyC en global es del 8,97%, mientras que la tasa de éxito en matemáticas es del 11%, sustancialmente superior.

La distribución entre hombres y mujeres entre las plazas concedidas puede observarse en la siguiente figura 24:

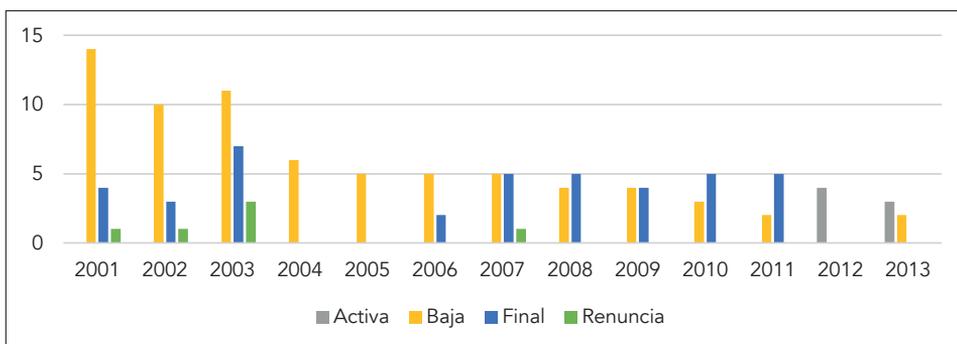
Figura 24. Distribución de contratos RyC por género



Comprobamos, una vez más, cómo la brecha de género aumenta a medida que mejora la relación contractual con la universidad o centro de investigación.

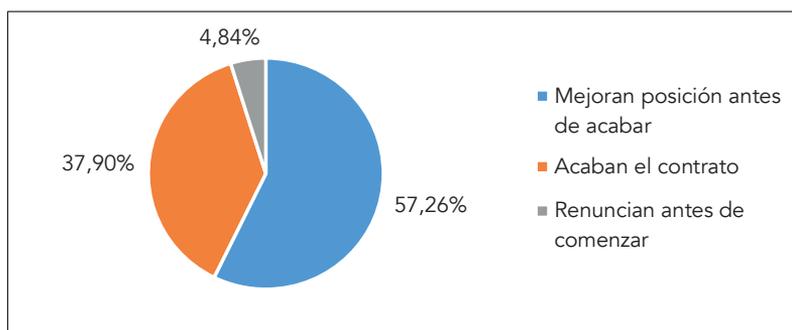
Se ha analizado también el número de investigadores e investigadoras que agotan su contrato como Ramón y Cajal o si, por el contrario, renuncian a este para mejorar sus condiciones laborales. Siguiendo las mismas indicaciones que en la figura 14 del programa JdC, la situación en RyC queda indicado en la figura 25, poniéndose de manifiesto también el efecto de la crisis, como se ha mencionado anteriormente.

**Figura 25. Estado de las RyC concedidas por año**



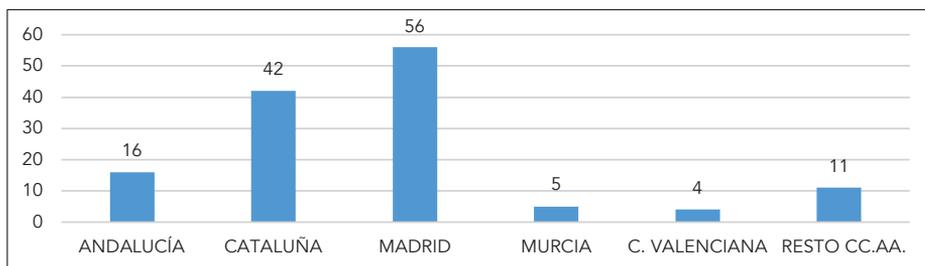
Es interesante observar cómo en este caso casi 6 de cada 10 investigadores o investigadoras que consiguen un contrato Ramón y Cajal mejoran sus condiciones laborales antes de su finalización (observar figura 26).

**Figura 26. Porcentaje de RyC que acaban, mejoran o finalizan contrato**



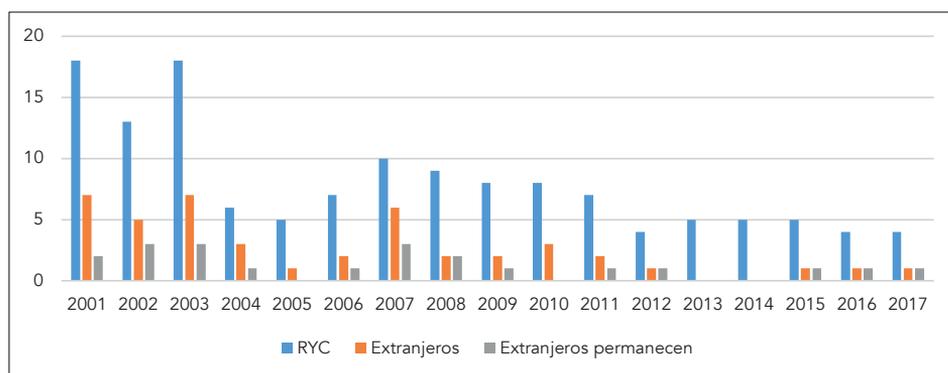
En la figura 27 podemos observar cuáles son las CC. AA. que obtienen un mayor número de contratos de este tipo. Es destacable que son cinco (Aragón, Principado de Asturias, Extremadura, Islas Baleares y Navarra) las CC. AA. en las que no se ha disfrutado ninguno de ellos en el tiempo de vida de este programa.

Figura 27. Distribución de contratos RyC en las CC. AA.



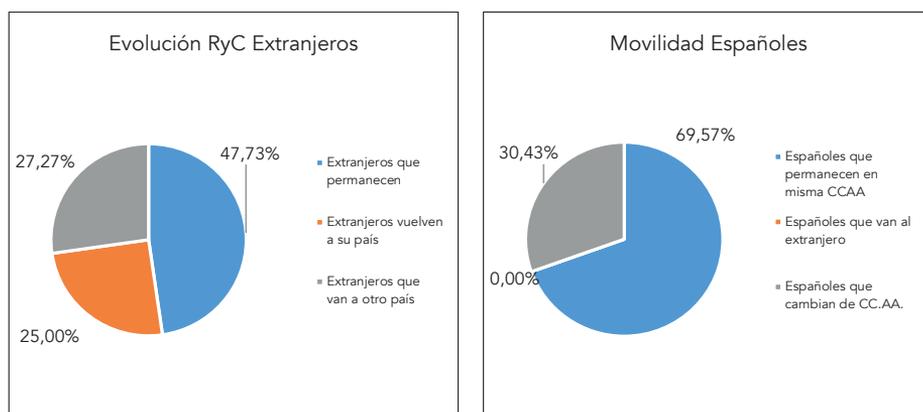
Por otra parte, el programa RyC es una de las vías para la captación de personal investigador extranjero. Desde 2001 hasta 2017, el 32,35% de los RyC provienen de otros países, mayoritariamente de países de la Unión Europea (cabe destacar que Italia con 16 seleccionados es el país del que más se nutre este programa), en menor medida de América (Argentina y Venezuela) y de manera simplemente testimonial de países como China y Nueva Zelanda.

Figura 28. RyC distribución personal investigador español/extranjero



Es interesante observar el comportamiento de los investigadores e investigadoras RyC una vez que finalizan su contrato, que ya se adelanta en la gráfica anterior. Este varía dependiendo de su procedencia tal y como puede observarse en la siguiente figura 29.

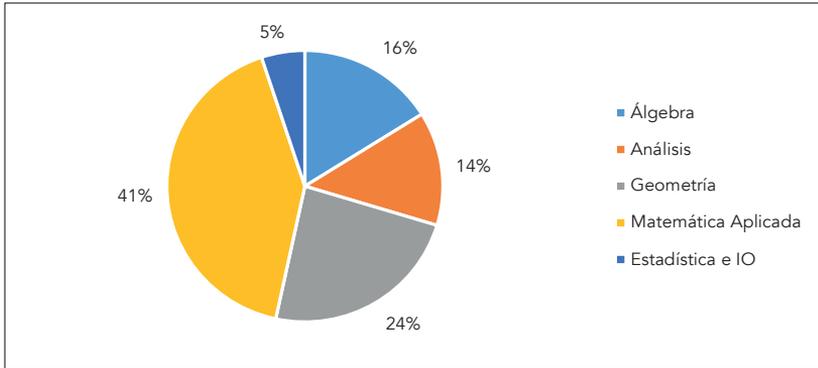
**Figura 29. Destino final de los RyC al finalizar contrato**



El número de personal investigador extranjero que ha permanecido en nuestro sistema es casi del 50%, lo que indica un éxito absoluto del programa en cuanto a captación de investigadores e investigadoras de calidad. El comportamiento de las y los contratados españoles es, sin embargo, mucho más conservador: casi 7 de cada 10 no se mueven de su comunidad autónoma y ninguno ha optado por seguir con su carrera fuera de nuestro país. Globalmente, de cada 3 contratados, 2 han permanecido en la institución que los acogió, frente a 1 que se marchó a un centro distinto.

A continuación, se da un pequeño apunte sobre la distribución de los contratos RyC en las distintas grandes áreas de investigación. En general, la distribución sigue el porcentaje de personal investigador en las universidades públicas españolas, a excepción del área de estadística e investigación operativa, donde el número de investigadores e investigadoras RyC es muy bajo.

Figura 30. Distribución de los contratos RyC en áreas de conocimiento



Acabamos este apartado con indicadores sobre la calidad de estos investigadores e investigadoras. De los 20 proyectos del ERC en matemáticas, 14 han sido conseguidos por personas que han pasado por el programa Ramón y Cajal, es decir, el 70%. Destaca que han sido el 83% de las Consolidators Grants y el 89% de las Starting Grants. El 10% de las personas con contrato Ramón y Cajal han obtenido un proyecto del ERC, cifra que debería ser comparada con otras áreas del conocimiento.

Se han obtenido, entre otros, los siguientes reconocimientos entre quienes obtuvieron un contrato Ramón y Cajal:

- Premio de la European Mathematical Society.
- Salem Prize del Institute of Advanced Study y Princeton University.
- IEEE Fellow y IEEE Control Systems Society Distinguished Lecturer.
- 2 Premios Miguel Catalán de la Comunidad de Madrid.
- Premio FPDGi Investigación Científica 2014.
- 5 Premios Rubio de Francia.
- 4 premios SEMA.
- Premio Barcelona Dynamical Systems.
- Premio “Houssay” en Física, Matemática, Ciencias de la Computación.
- NSF CAREER award.

En cuanto al número y calidad de las publicaciones del personal investigador en matemáticas con contrato Ramón y Cajal, hay que señalar que han sido autores

y autoras de una parte significativa de ellas, en las revistas más importantes del área, como señalan, por ejemplo, las siguientes cifras:

- De las 29 publicaciones en la revista *Annals of Mathematics* con filiación en España publicadas en el periodo 2001/2017, encontramos que 12 tienen como coautoras personas que han sido contratadas por el programa Ramón y Cajal.
- De las 6 publicaciones en la revista *Acta Mathematica* con filiación en España publicadas en el periodo 2001/2017, encontramos que 4 tienen como coautoras personas que han sido contratadas por el programa Ramón y Cajal.
- De las 21 publicaciones en la revista *Inventiones Mathematicae* con filiación en España publicadas en el periodo 2001/2017, encontramos que 5 tienen como coautoras personas que han sido contratadas por el programa Ramón y Cajal.
- De las 8 publicaciones en la revista *Journal of the American Mathematical Society* con filiación en España publicadas en el periodo 2001/2017, encontramos que 2 tienen como coautoras personas que han sido contratadas por el programa Ramón y Cajal.
- De las 31 publicaciones en la revista *Duke Mathematical Journal* con filiación en España publicadas en el periodo 2001/2017, encontramos que 16 tienen como coautoras personas que han sido contratadas por el programa Ramón y Cajal.
- De las 18 publicaciones en la revista *Communications on Pure and Applied Mathematics* con filiación en España publicadas en el periodo 2001/2017, encontramos que 5 tienen como coautoras personas que han sido contratadas por el programa Ramón y Cajal.

Cualitativamente hablando, un aspecto que se debe reseñar es que algunos de los resultados matemáticos más importantes de los últimos diez años han involucrado a personas seleccionadas por el programa Ramón y Cajal. Por citar algunos de esos logros: solución de una conjetura de Nash, solución al problema de Painlevé en términos de la curvatura de Menger, solución al problema de Kelvin, solución del problema de Bernstein en  $\mathbb{N}^3$ , existencia de singularidades de tipo *splash*, conjetura de modularidad de Serre, entre otros muchos otros.

También han hecho grandes aportaciones en matemática aplicada como, por ejemplo, en el diseño y análisis de estrategias de movimiento y coordinación de múltiples vehículos autónomos, métodos numéricos para fluidos en geofísica, métodos en econometría, etc.

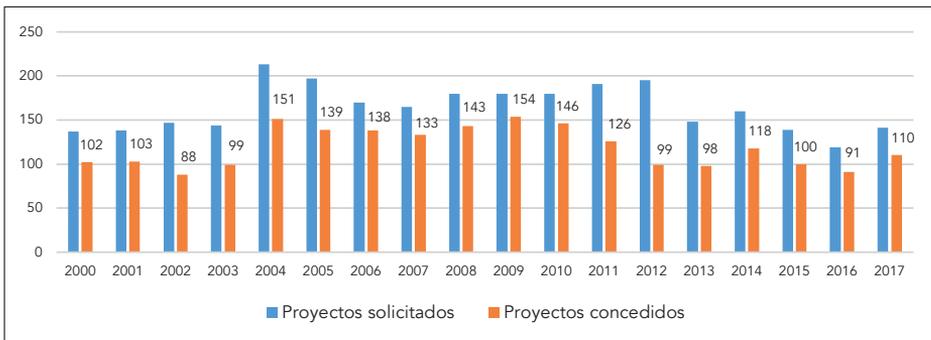
#### 4. PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN

Uno de los pilares básicos de la investigación en nuestro país está constituido por los proyectos de investigación que, en el caso de las matemáticas, casi siempre se han integrado en programas de generación de conocimiento o ciencia básica. Si bien es verdad que nuestra ciencia ha disfrutado de programa propio evitando así la competencia con otros campos cercanos que, muy presumiblemente, nos hubiera perjudicado. Además, es de justicia remarcar que el personal de gestión en los diversos ministerios de los que ha dependido el programa de proyectos de investigación siempre, hasta ahora, ha mostrado una comprensión sincera hacia la idiosincrasia propia de las matemáticas.

Es importante resaltar que se han obtenido resultados importantes y un avance espectacular en todos los frentes a pesar de la escasez de recursos. El tejido investigador matemático, actualmente en este país, puede considerarse sin miedo a caer en la autocomplacencia que demuestra seriedad y madurez y es el caldo de cultivo de una excelencia investigadora notable.

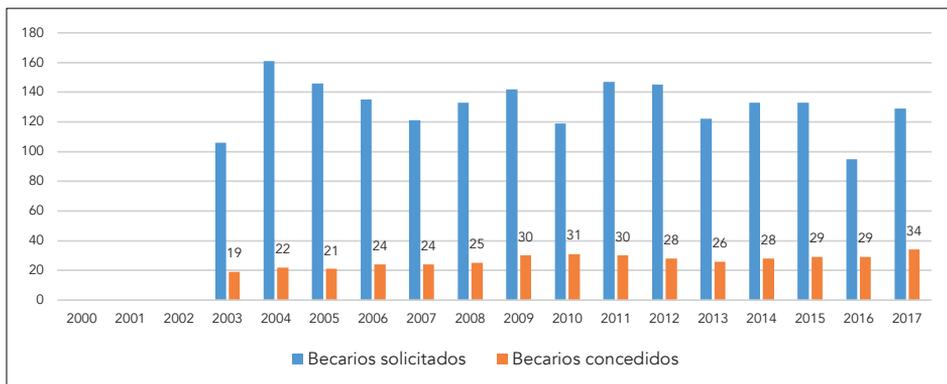
Los siguientes gráficos pretenden apoyar, de manera cuantitativa, una reflexión colectiva que nos permita orientarnos de cara al futuro a corto y medio plazo sobre el mejor modo de aprovechar los recursos que se nos destinen, sean cuales sean.

Figura 31. Proyectos solicitados y concedidos



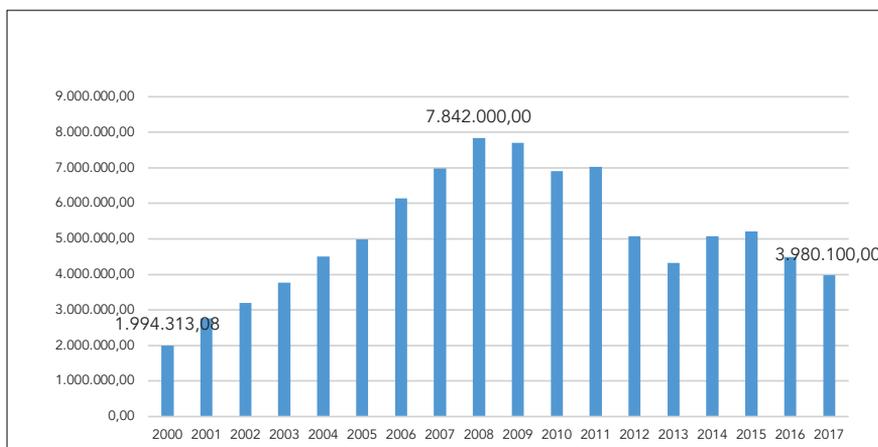
La tasa de éxito (proyectos concedidos/proyectos solicitados) suele ser en nuestro programa muy alta en comparación con otros programas y casi siempre superior al 70% salvo en contadas excepciones. Teniendo en cuenta los resultados a nivel de publicaciones analizados en el epígrafe 5, así como el impulso que han tenido las matemáticas españolas en los últimos años, se considera, sin lugar a duda, una buena estrategia.

**Figura 32. Tasa de éxito en concesión de becas asociadas a proyectos**



En cuanto a las personas que han sido becadas (figura 32), se puede afirmar que el número de contratos concedidos se ha mantenido, con una ligera tendencia al alza, a lo largo de los años. En todo caso, dicho número siempre ha estado muy por debajo de la necesidad medida a partir del número global solicitado.

**Figura 33. Cantidad global destinada a MTM por años**



Probablemente, uno de los datos que mejor refleja el apoyo público a la investigación en matemáticas en nuestro país es la cantidad global destinada a proyectos competitivos de investigación en el programa MTM. La figura 33 permite captar cuál ha sido dicho apoyo, y, sobre todo, cómo ha ido evolucionando en el periodo estudiado.

#### a) Redes y acciones especiales

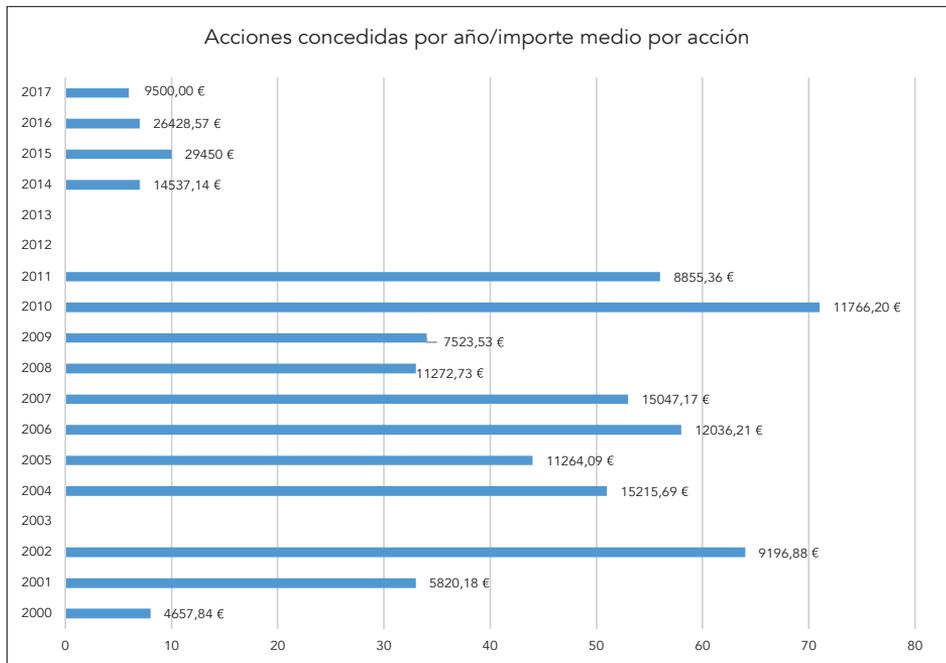
En general, estas acciones especiales siempre han jugado un papel importante, aunque complementario. Típicamente se han usado para atender dos necesidades que son de máxima importancia y actualidad: por un lado, la financiación de eventos científicos de calidad en nuestro país; y por otro, el apoyo a las redes temáticas de ámbito nacional. Este último apoyo en la mayoría de los casos se ha traducido en destinar los fondos a atraer personal investigador joven y bien motivado a los diversos temas actuales de trabajo en cada campo de las matemáticas. Desgraciadamente, los dos gráficos que se presentan en este apartado muestran claramente la decadencia, con algunas variaciones al alza, de estas convocatorias en los últimos años. Es un sentimiento de pesar generalizado que esto sea así, pues este programa de ayudas supone un índice de aprovechamiento muy alto al gastarse en el apoyo a la asistencia a eventos de interés de jóvenes talentos.

Es importante tener presente para interpretar adecuadamente estos datos que, hasta el año 2011 aproximadamente, el programa aceptaba peticiones para la organización de eventos mientras que, a partir de ese año, las peticiones se centraron en redes temáticas. Por ello, la media por acción sale más baja antes del 2010, aunque se disponían de más fondos globalmente, mientras que tal media sale mucho más alta después. De todos modos, en los últimos años la tendencia es claramente a la baja.

**Figura 34. Cuantías concedidas por años**



**Figura 35. Número de acciones ejecutadas por año y media por acción**



## 5. INSTITUCIONES Y CENTROS DE INVESTIGACIÓN

En este capítulo, analizaremos diferentes instituciones y centros de investigación en España que destacan por su contribución al fortalecimiento de la matemática española. Los centros analizados son, por orden cronológico de creación, **CRM**, **BCAM**, **ICMAT** e **ITMATI**.

Es importante señalar que el **CRM**, **BCAM** e **ICMAT** son centros de investigación con un objetivo claro de mejorar la investigación y la formación avanzada en matemáticas (doctoral y posdoctoral), la atracción de personal científico de reconocido prestigio a nivel internacional y estimular la investigación inter y multidisciplinar, así como la transferencia de las matemáticas y sus usos a la sociedad. Sin embargo, el objetivo de **ITMATI** es contribuir al fortalecimiento y potenciación de la competitividad en el entorno industrial y empresarial y apoyar la innovación en el sector productivo, mediante el logro de la excelencia en la investigación y el desarrollo de tecnología matemática orientada a la transferencia a la industria; proporcionando soluciones innovadoras a los sectores productivos de la sociedad, especialmente a empresas, industrias y administraciones públicas.

Presentaremos datos de personal propio y adscrito con especial énfasis en el colectivo de jóvenes investigadores e investigadoras y el papel de formación que cada uno de estos centros tiene. No se trata de hacer una comparativa entre ellos, sino de destacar las especificidades de cada uno y aquellas características que los distinguen de los demás. En particular, presentaremos sus fortalezas, debilidades y algunas propuestas de mejora.

Tanto el **BCAM** como el **ICMAT** han sido galardonados como Centros de Excelencia Severo Ochoa (SO). Junto con la **BGSMATH**, que obtuvo la acreditación como Unidad de Excelencia María de Maeztu (MDM), son los únicos tres centros de matemáticas con este sello de excelencia.

También presentaremos datos de las dos instituciones principales de captación de talento investigador sénior, que actualmente existen en el sistema español, fuera del sistema público de las Universidades y CSIC: **ICREA** e **IKERBASQUE**.

Y finalmente haremos un breve análisis de la Red **REDIUM** de Institutos Universitarios.

Sobre la metodología, en el mes de octubre de 2018, se envió el siguiente cuestionario a la dirección de centros e institutos de investigación sobre el periodo 2000/2017:

1. Evolución del personal propio y adscrito en el periodo 2000/2017. Distribución por área. Grupos de investigación. Distribución por género. Distribución por edades (25-35, 35-45, 45-55, 55-70).
2. Evolución de la financiación en dicho periodo. Distribución por fuente de financiación (estatal, autonómica, europea, privada...)
3. ¿Cómo se ha distribuido la financiación? (personal, semestres temáticos, programas de investigación...)
4. Objetivos del instituto.
5. Líneas prioritarias. Áreas estratégicas.
6. Política de jóvenes investigadores: posibilidad de contratos posdoctorales, captación de talento joven, programas de formación...
7. Programa de captación de talento sénior.
8. Matemática interdisciplinar y matemática industrial: ¿qué tipo de acciones tiene el instituto en estas líneas? ¿Tenéis contratos con empresas?...
9. Ejemplos de éxito del instituto.
10. Fortalezas y debilidades.
11. Plan de internacionalización. Contactos con otros institutos españoles y europeos. ¿Qué tipo de acciones tenéis? ¿Con qué instituto europeo os compararíais? ¿En qué os parecéis y en qué os diferenciáis?
12. Retos de excelencia científicas.
13. Propuestas de mejora y retos de futuro.

Una vez recibidas las respuestas a este cuestionario, se procesaron todos los datos y se realizó una propuesta de informe de cada centro e instituto, los cuales fueron enviados a los centros para su revisión y modificación de los datos que consideraron oportunos. En mayo de 2019, se cerró cada informe con el visto bueno de cada institución.

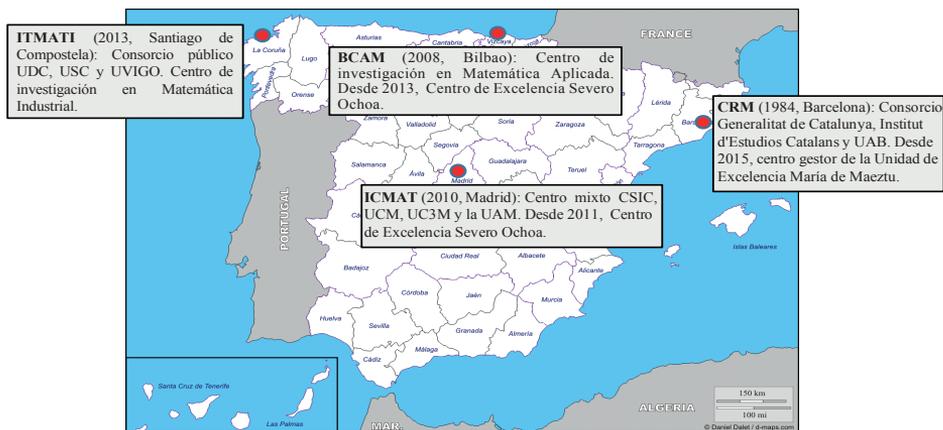
Posteriormente, se realizó un resumen de la situación de cada institución que es lo que aparece reflejado en este documento.

## 5.1. Centros de investigación

Cada uno de los centros que analizaremos en esta sección ha expresado sus objetivos principales de forma diferente, pero podemos decir que tienen el denominador común de promover acciones que permitan generar valor añadido a la sociedad a través de los siguientes mecanismos:

- Mejorar la investigación y la formación avanzada en matemáticas.
- Proporcionar formación doctoral y posdoctoral competitiva a nivel internacional.
- Estimular la investigación interdisciplinaria y explorar nuevos contextos para su uso en la ciencia básica y en la industria, con miras a sus aplicaciones en la sociedad.
- Promover avances científicos y tecnológicos en todo el mundo a través de la investigación interdisciplinaria en matemáticas y la capacitación y atracción de científicos talentosos.
- Divulgar y comunicar los usos de las matemáticas estableciendo un diálogo con la sociedad.

Figura 36. Centros de investigación en matemáticas



Actualmente, en el CRM se pueden destacar cinco líneas prioritarias en investigación:

- Biología matemática y computacional.

- Matemática industrial.
- Sistemas complejos.
- Neurociencia computacional.
- Análisis armónico y teoría de aproximación.

Figura 37. Plataformas científicas del BCAM



Por su lado, BCAM está organizado en tres plataformas científicas con cinco áreas estratégicas:

- Computación matemática.
- Modelización con aplicaciones multidisciplinares.
- Matemática física.
- Ecuaciones en derivadas parciales.
- Ciencia de datos.

En el ICMAT las líneas corresponden a los grupos de investigación del centro:

- Geometría algebraica y física matemática.
- Geometría diferencial, geometría simpléctica y mecánica geométrica.
- Análisis matemático, ecuaciones diferenciales y aplicaciones.
- Teoría de números.
- Teoría de grupos.
- Estadística, probabilidad e investigación operativa.

- Matemáticas e información cuántica.
- Modelización matemática y simulación.

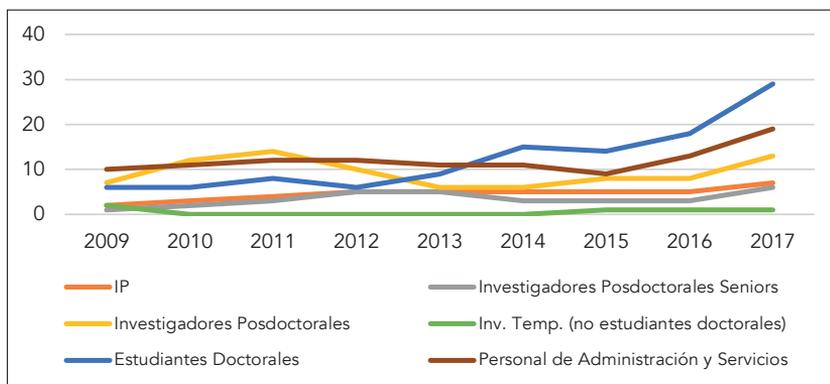
Y, finalmente, el ITMATI tiene cuatro líneas diferenciadas:

- Computación.
- Estadística y *big data*.
- Optimización.
- Simulación numérica.

Observamos que, claramente, hay un interés generalizado en los cuatro centros en el fortalecimiento de aquellas líneas más actuales como es, en particular, la computación matemática, así como hacia el enfoque de la investigación en matemática fundamental hacia las aplicaciones reales que la sociedad reclama.

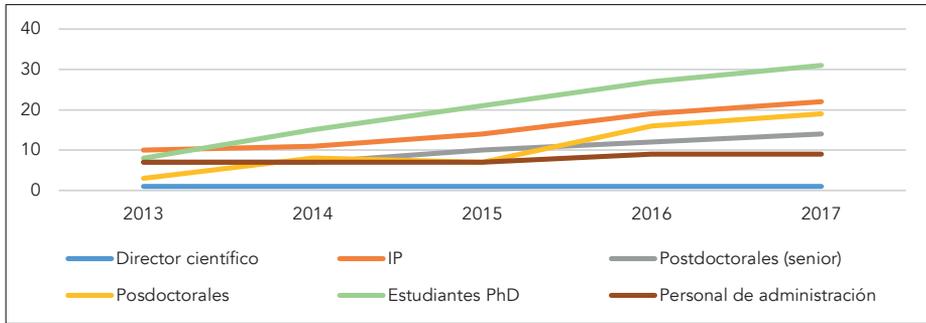
Respecto al **personal**, cada centro tiene una tipología distinta. Así, por ejemplo, desde sus inicios en 1984 hasta 2007 el CRM fue un “centro de servicios” a la comunidad matemática en un sentido amplio. No tuvo personal de investigación propio y concentró su actividad en la organización de congresos, cursos avanzados y en hospedar visitantes de media y larga duración y personal investigador posdoctoral que colaboró con el personal investigador local de las universidades. En 2007 se inicia la elaboración de un plan estratégico de futuro que implementa la introducción de personal y grupos de investigación en el CRM con un enfoque hacia la matemática aplicada y la transferencia de tecnología.

Figura 38. Evolución del personal del CRM



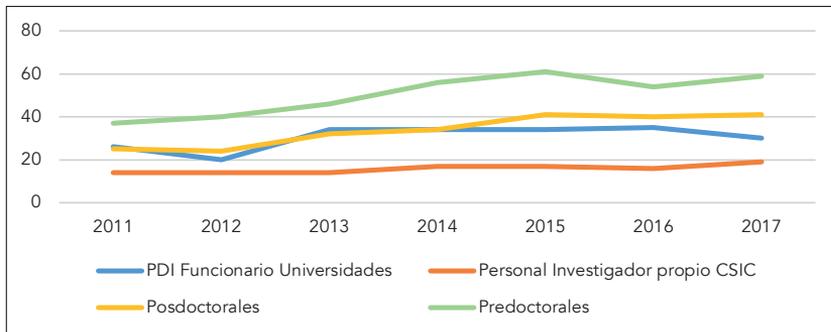
En el BCAM el personal investigador es, en su totalidad, personal propio conseguido a través de las diversas convocatorias de Ikerbasque.

Figura 39. Evolución del personal del BCAM (2013/2017)



Finalmente, tanto en el ICMAT como en el ITMATI, hay personal propio y personal adscrito de las universidades que participan en el centro.

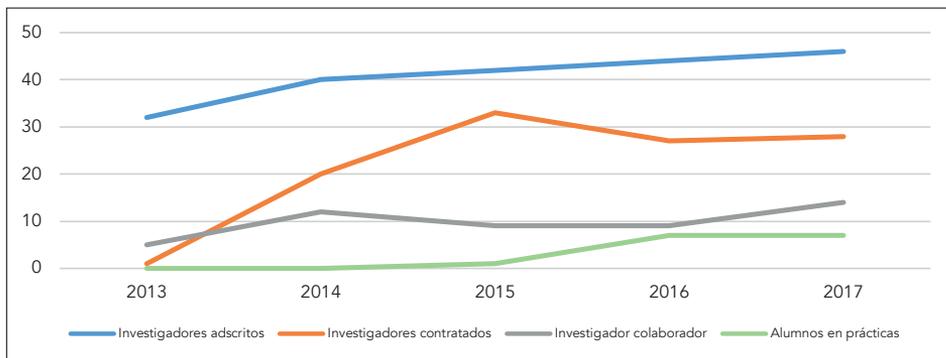
Figura 40. Personal investigador ICMAT por categorías



Ahora bien, se ha de mencionar que ITMATI no cuenta con personal propio permanente, ya que sus fuentes de financiación dependen, en su mayoría, de los convenios y los contratos que se firman con empresas y administraciones, siendo algunos de ellos proyectos competitivos en el marco de convocatorias públicas. Por ello, el personal investigador propio está contratado por obra y servicio a cargo de estos proyectos o convenios. Por otra parte, también cuenta con una unidad de gestoras y gestores de transferencia contratados a cargo de convenios con las universidades gallegas y, puntualmente, con la Xunta de Galicia. Además,

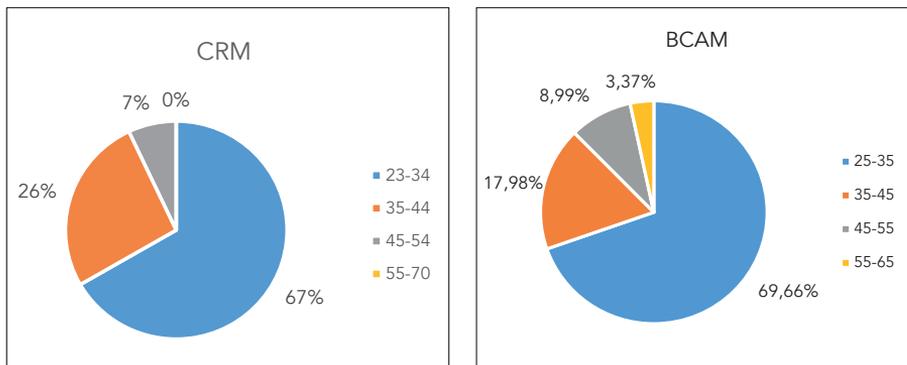
el ITMATI cuenta con una red de investigadoras a investigadores adscritos y colaboradores procedentes de las universidades gallegas miembros del Consorcio (UDC, USC, UVigo).

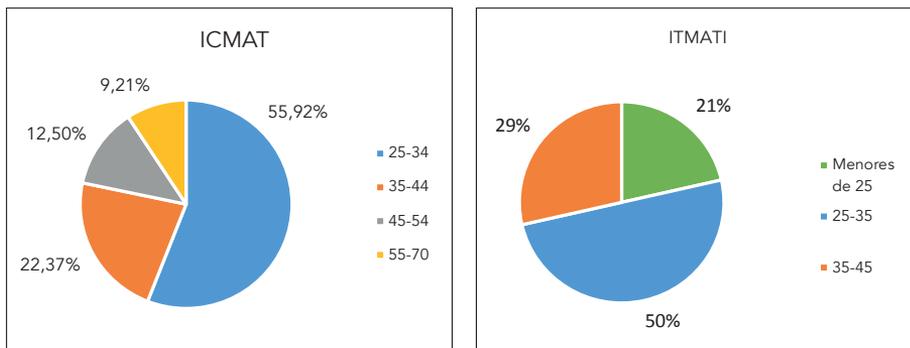
**Figura 41. Evolución del personal investigador ITMATI**



La distribución del personal por edades en 2017, aparece representada en los siguientes gráficos, quedando constatada, en los cuatro centros estudiados, la juventud en dichas plantillas.

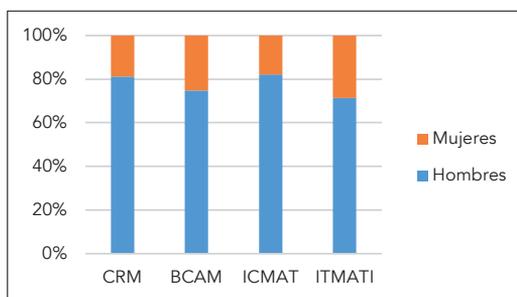
**Figura 42. Distribución por edades en 2017**





Respecto al **género**, debemos señalar la amplia presencia masculina en estos centros de investigación entre el personal investigador propio en todos los estadios. La siguiente figura muestra la distribución por géneros en el año 2017:

**Figura 43. Distribución por género del personal investigador en 2017**



Más concretamente, en el **CRM** la femenina es del 19,76% y hemos de señalar que nunca han tenido una mujer dentro del personal investigador permanente en su plantilla. **BCAM** sigue la misma trayectoria, siendo únicamente el área de administración en el que se observa un mayor número de mujeres que de hombres. Por su parte, en 2017, del total de los 47 miembros dentro del personal investigador permanente del **ICMAT**, solo un 6,38% son mujeres, y no hay ninguna mujer en las categorías de Catedrática, Profesora de Investigación o Investigadora Científica. En porcentaje, el número mayor de mujeres se da en las categorías de formación, aunque sigue percibiéndose en ellas una diferencia notable. Finalmente, centrándonos en el personal propio investigador del **ITMATI**, la evolución del total y su distribución por género ha sido hasta ahora totalmente semejante a la del resto de los centros de investigación matemática.

Quizás el dato más preocupante de los anteriormente reseñados respecto a la brecha género sea que se siga percibiendo esa diferencia a nivel de personal en formación.

En los cuatro centros analizados se observa un especial énfasis en la **formación de personal investigador joven** a través de las diferentes convocatorias destinadas para ello. En particular, se realiza un gran esfuerzo en:

- Atracción de estudiantes de doctorado: becas FPI y FPI Severo Ochoa, FPU, Fundación La Caixa, Banco de Santander...
- Atraer a jóvenes investigadores e investigadoras, a través del programa Juan de la Cierva, Ramón y Cajal o las becas Marie Curie.

En año 2012 el CRM inició un programa de estancias de investigación con el objetivo de atraer el interés de jóvenes hacia la investigación en matemáticas. Dentro del marco del programa, el CRM acoge, por períodos mínimos de dos meses, estudiantes de grado o máster para desarrollar una etapa formativa en alguno de los grupos de investigación del CRM. También está dotado de una Unidad de Formación Doctoral (UFD-CRM) con especial énfasis en la formación de estudiantes de doctorado en las áreas colaborativas. En la figura 44 se puede ver la evolución de la captación del personal investigador joven en el periodo 2009/2017.

Por otro lado, el centro ha tenido una gran evolución en los investigadores e investigadoras posdoctorales a través de diferentes organismos autonómicos, estatales y europeos.

Figura 44. Captación estudiantes de doctorado del CRM

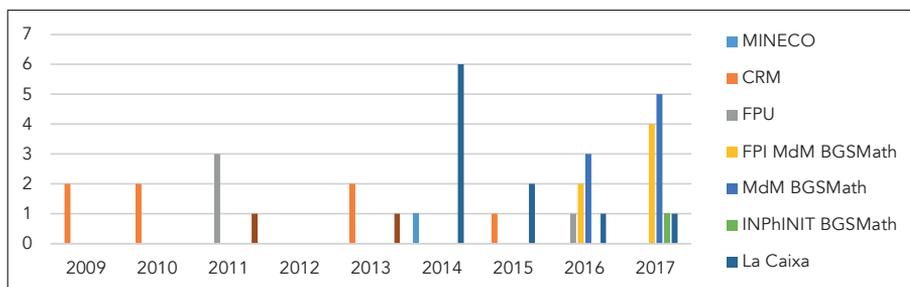
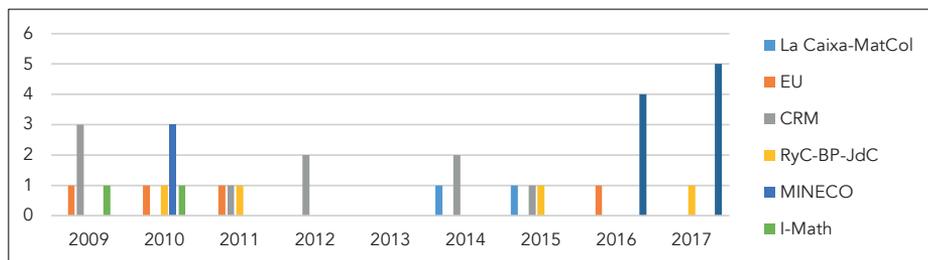


Figura 45. Captación contratos posdoctorales del CRM



BCAM hace un amplio uso del programa de *internship* y las escuelas de verano. Además, en las siguientes gráficas podemos observar la captación tanto de estudiantes predoctorales como de personal posdoctoral.

Figura 46. Captación predoctoral del BCAM

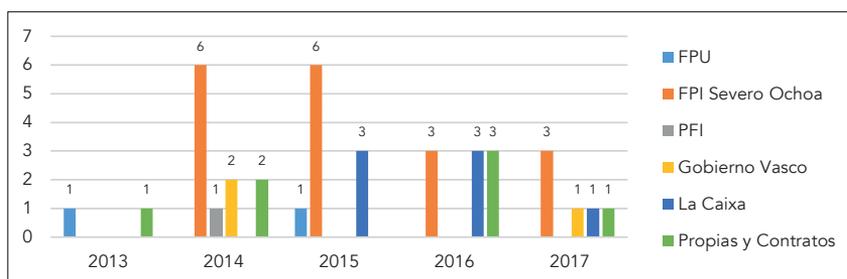
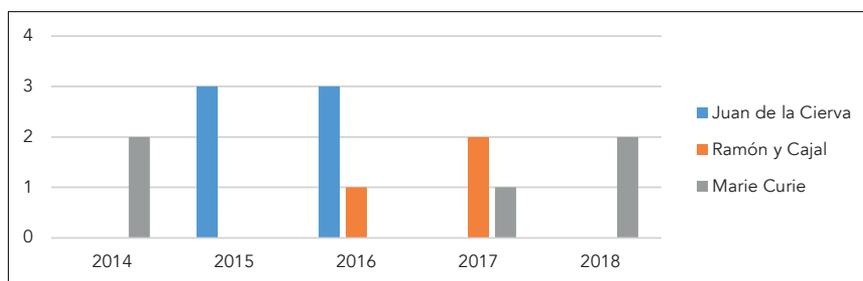


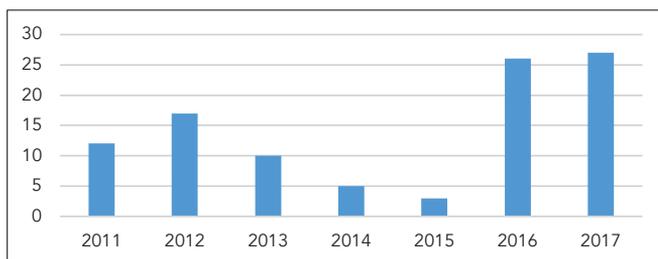
Figura 47. Captación posdoctoral BCAM



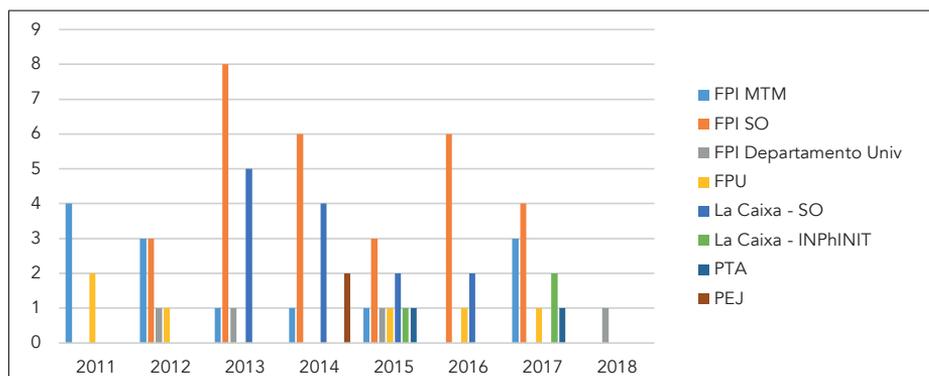
ICMAT tiene convocatorias de becas para estudiantes de másteres, así como los Programa INTRO SO y JAE Intro y organiza cinco escuelas temáticas

además de la Escuela JAE. El número de becas concedidas, así como la evolución del personal predoctoral y posdoctoral puede verse a continuación.

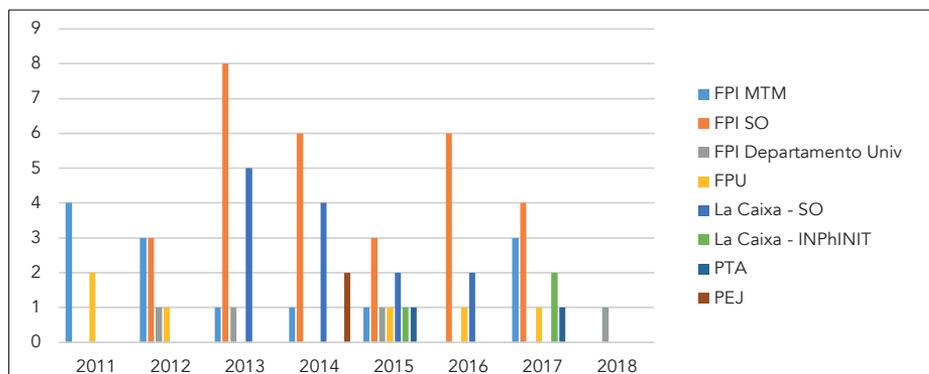
**Figura 48. Becas ICMAT**



**Figura 49. Captación personal predoctoral ICMAT**



**Figura 50. Captación personal posdoctoral en el ICMAT**

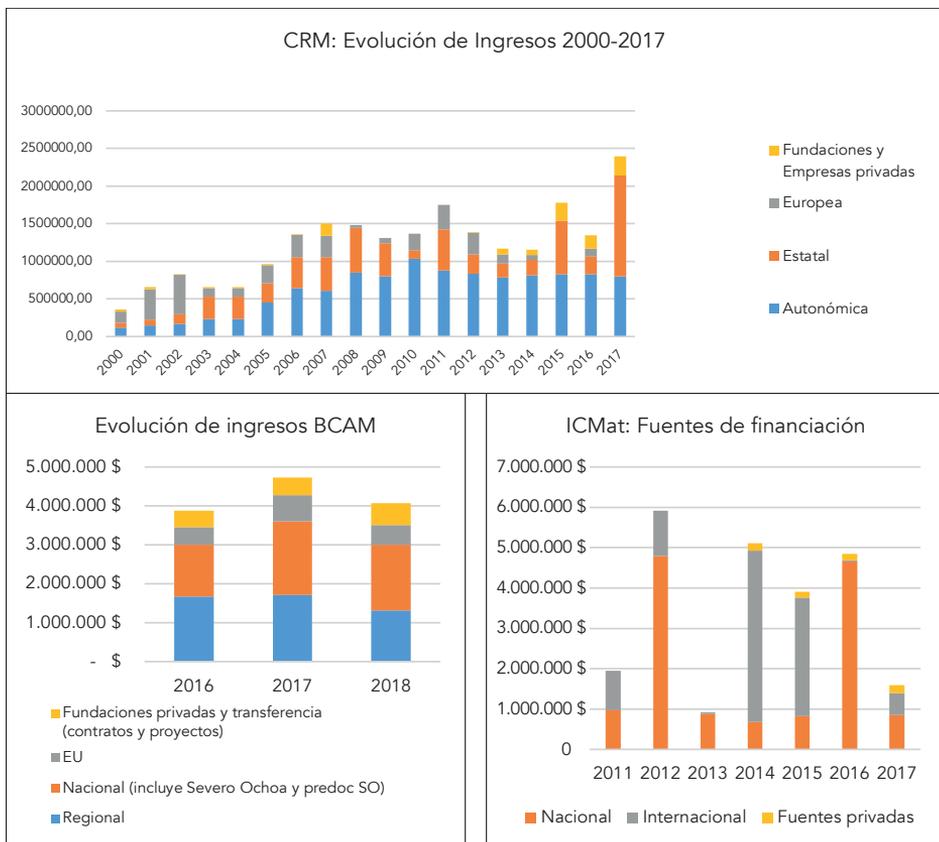


Como dato, recibido del ICMAT y no tan positivo, señalar que este comenzó en 2011 con un 16,22% del personal en formación extranjero, habiendo caído este porcentaje a niveles del 8,47% en el año 2017.

ITMATI participa en el Proyecto ROMSOC, en el marco del programa Marie Sklodowska-Curie del H2020 para Doctorandos Europeos Industriales y cuenta con un programa de alumnado en prácticas en el marco de varios convenios que el centro ha firmado con diversas instituciones educativas.

Las **fuentes de financiación** en el CRM, BCAM e ICMAT están distribuidas como indica la siguiente figura:

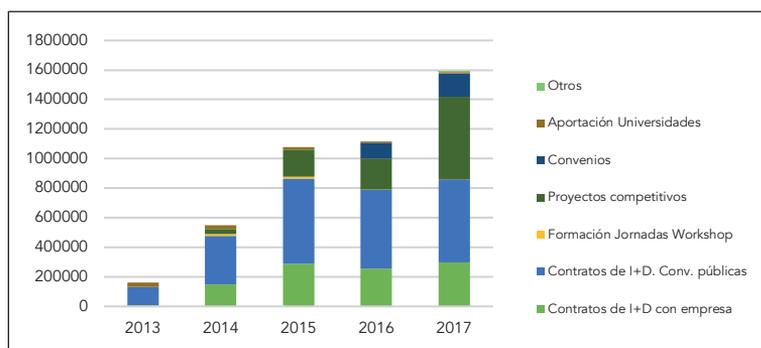
**Figura 51. Ingresos CRM-BCAM-ICMAT**



Creemos importante destacar la baja financiación proveniente en estos tres centros de fuentes privadas, así como que el ICMAT no recibe financiación autonómica, frente al compromiso claro tanto de Cataluña y del País Vasco en este aspecto.

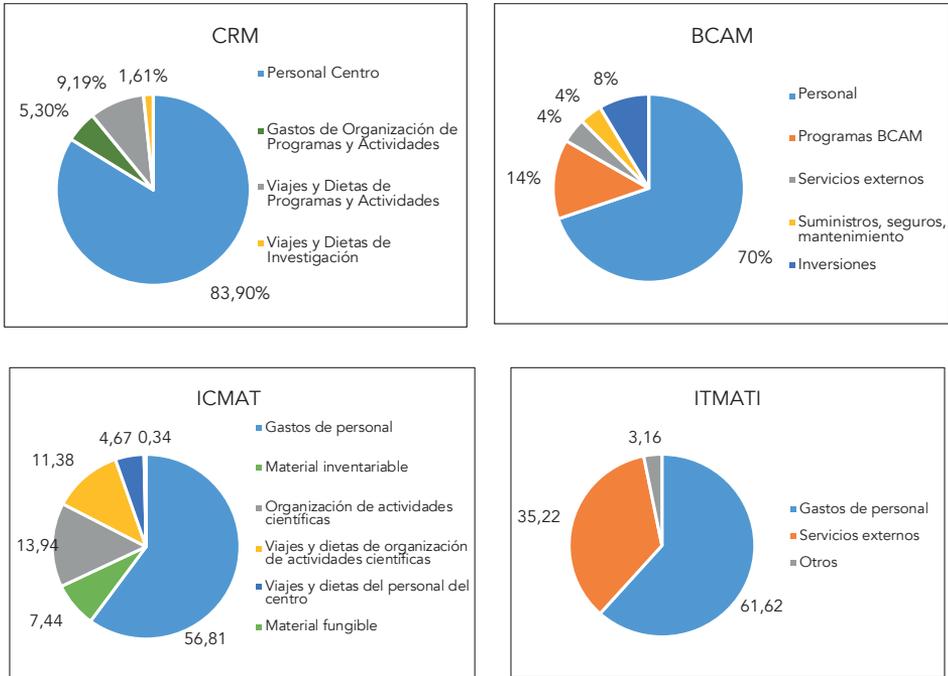
En cuanto al ITMATI, su financiación procede de contratos y proyectos de I+D con empresas o administraciones públicas, así como del convenio que el centro tiene firmado con las tres universidades gallegas y, en los últimos años, con la Xunta de Galicia. Hay que remarcar que en ITMATI no se ejecutan proyectos de investigación básica, como los proyectos competitivos del plan nacional, en los que pueda participar el personal investigador adscrito a través de sus universidades.

**Figura 52. Fuentes de financiación del ITMATI**



La distribución del gasto del año 2017 que puede observarse en la gráfica siguiente refleja claramente que la mayor parte del gasto en todos los centros de investigación se dirige al pago del personal propio del centro. Señalar, también, que tanto BCAM como sobre todo ITMATI reservan parte de su presupuesto a pagos por servicios que contratan a empresas externas.

Figura 53. Gasto en los centros de investigación en 2017



Es difícil resaltar las **fortalezas** de los centros de manera global. Quizás hay unos temas comunes en el caso del **BCAM**, **CRM** e **ICMAT** como son:

- Éxito en los programas Severo Ochoa y María de Maeztu.
- Participación institucional activa a nivel europeo a través de ERCOM y la EMS.
- Visibilidad internacional.
- Excelente personal de gestión.

Además, CRM e ICMAT mencionan la excelencia de sus instalaciones. Así mismo, de manera más individualizada:

- BCAM destaca a sus equipos de investigación multidisciplinares en matemáticas, física, ingeniería y ciencias de la computación.
- CRM, su dinamismo y capacidad de adaptación a las nuevas interfaces.

- ICMAT, su gran experiencia en comunicación y divulgación de las matemáticas.

Mientras que en el caso del **ITMATI** destacamos su experiencia de 30 años previa en actividades de transferencia, dinamismo y adaptabilidad con las empresas en la transferencia de tecnología y la implicación y motivación de su personal del área de transferencia.

Algunas de las **debilidades** mencionadas no lo son realmente de los centros, sino del sistema de financiación y contratación español:

- Dificultades administrativas para contratar personal investigador extranjero, con el añadido de que los salarios españoles no son competitivos en comparación con otros países.
- La crisis económica ha hecho difícil la consolidación de los miembros jóvenes.
- Necesidad de una financiación estable.
- La financiación depende demasiado del sector público.
- Hay pocos recursos eficientes para el cálculo científico intensivo.
- El sector empresarial no es completamente consciente de los beneficios de las matemáticas.
- Experiencia limitada en la transferencia de conocimiento.

De manera conjunta, las **propuestas de mejora** recibidas fueron:

- Aumentar la participación en proyectos públicos competitivos a nivel regional, nacional e internacional.
- Impulsar la transferencia hacia la industria y la sociedad, especialmente en sectores como telecomunicaciones, salud, transporte, energía y aeronáutica.
- Flexibilización de la contratación de personal investigador incorporando extranjero.
- Incentivar la participación de mujeres matemáticas.
- Mejorar la obtención de recursos del sector privado.

Y de manera más individualizada:

- **CRM** ha de encontrar financiación estable para sus programas de investigación temáticos fuera del sector público.

- **BCAM**, consolidar, en investigación fundamental, el promedio de publicaciones de los investigadores e investigadoras que ya tienen, pero con un aumento sustancial de la calidad.
- **ICMAT**, una Escuela de Doctorado en Madrid y mejorar la gobernanza del ICMAT desde las instituciones que lo conforman.
- **ITMATI**, consolidación como un centro de referencia de investigación y transferencia en el ámbito de la matemática industrial a nivel nacional e internacional.

## 5.2. Centros y Unidades de Excelencia

El distintivo Centro de Excelencia Severo Ochoa y Unidad de Excelencia María de Maeztu, dentro del subprograma de Fortalecimiento Institucional del Plan Estatal de Investigación Científica Técnica y de Innovación, tiene como objetivo financiar y acreditar los centros y unidades públicas de investigación, en cualquier área científica, que demuestran impacto y liderazgo científico a nivel internacional y que colaboran activamente con su entorno social y empresarial. En matemáticas han sido galardonados con el distintivo de Centro de Excelencia Severo Ochoa los centros ICMAT y BCAM (ya analizados previamente en este capítulo en gran medida) y como Unidad de Excelencia María de Maeztu, la Barcelona Graduate School of Mathematics, BGSMath.

La única Unidad de Excelencia María de Maeztu en la actualidad, la BGSMath, agrupa unos 300 investigadores e investigadoras afiliadas, de los cuales, 60 son estudiantes de doctorado y unos 25 posdoctorales, financiados además de por los programas propios, por becas competitivas como IF Marie Curie, Juan de la Cierva, Beatriu de Pinòs y contratos a cargo de proyectos H2020 en su mayoría. Los IP (investigadores principales) son profesorado de las universidades asociadas, así como líderes de grupo del CRM.

En el período de junio 2015 a junio 2018, la BGSMath ha realizado dos convocatorias predoctorales y cinco posdoctorales (ya estudiadas y analizadas en el epígrafe 3.4 de este capítulo). Si nos fijamos en la concesión, en el caso de las posiciones predoctorales, un 37,5% fueron para mujeres. Respecto a la procedencia de las personas solicitantes y seleccionadas, el porcentaje de solicitudes es principalmente extranjero (entre el 75% y 85%). En el caso de las ayudas predoctorales, la mitad de las y los que obtienen la beca son de España. Los datos de estas convocatorias aparecen recogidos en la tabla 9.

Tabla 9. Programa María de Maeztu predoctoral en la BGSMath

Convocatorias Doctorales	Plazas	Solicitudes	% Mujeres solicitantes	% Mujeres contratadas	% Solicitantes Internacional		% Contratados internacional	
					EU	No EU	EU	No EU
MDM-2016	4	81	22%	50%	21%	38%	25%	50%
MDM-2017	4	41	24%	25%	15%	34%	25%	0%
TOTAL DOCS	8	122	23%	33%	19%	37%	25%	50%

### 5.3. Red de Institutos Universitarios

La Red de Institutos Universitarios de Matemáticas (RedIUM) se gestó en 2007 y se constituyó formalmente en abril de 2013. Está formada por catorce Institutos Universitarios de Investigación creados al amparo de la Ley Orgánica de Universidades de 2001, los cuales acogen y representan a la mayoría de los grupos de investigación en matemáticas de las universidades de Barcelona, Castellón, Castilla-La Mancha, Complutense de Madrid, Elche, Extremadura, Granada, Politécnica de Valencia, Salamanca, Santiago de Compostela, Sevilla, Valladolid y Zaragoza.

Dichos institutos están repartidos por toda España de la siguiente manera:

Figura 54. Institutos de Investigación Redium



- CIO (Universidad Miguel Hernández)
- IEMath-Gr (Universidad de Granada)
- IMAC (Universitat Jaume I)
- IMACI (Universidad de Castilla-La Mancha)
- IMAT (Universidad de Santiago)
- IMI (Universidad Complutense de Madrid)
- IMM (Universitat Politècnica de València)
- IMUB (Universitat de Barcelona)
- IMUS (Universidad de Sevilla)
- IMUVA (Universidad de Valladolid)
- IUFFyM (Universidad de Salamanca)
- IUMA (Universidad de Zaragoza)
- IUMPA (Universitat Politècnica de València)
- IMUEX (Universidad de Extremadura)

Los catorce Institutos Universitarios de Investigación que componen la RedIUM acogen la mayoría del personal investigador en matemáticas de nuestro país en todas las áreas de conocimiento. Este hecho confiere a la red una capacidad

de coordinación privilegiada y representatividad legítima ante sus interlocutores en la ciencia española y en ciertos sectores de la arena internacional.

Los Institutos Universitarios de Investigación están contribuyendo, mediante la adopción de usos y procedimientos propios de los centros de investigación de referencia internacional, a la modernización de la gestión de la investigación en el sistema universitario español. Su influencia está siendo esencial para la necesaria evolución de los sistemas de acceso de personal investigador joven a puestos temporales o indefinidos en las universidades, que es uno de los grandes desafíos en el momento actual y lo seguirá siendo en los próximos años. En el caso de las matemáticas, los institutos que integran la RedIUM han mostrado su voluntad de actuar coordinadamente y avanzar ideas que puedan guiar y afianzar los cambios que el sistema va requiriendo.

Los objetivos principales de la red son:

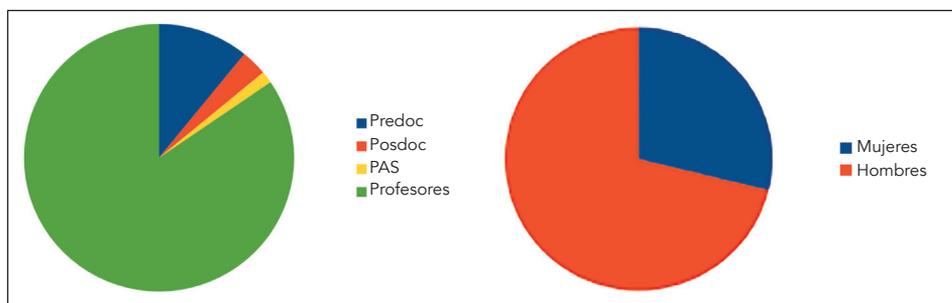
- Apoyar a los grupos de investigación con el propósito de reforzar la infraestructura de la matemática española, poniendo a su disposición personal y recursos para facilitar la movilidad de personal investigador y la organización de actividades.
- Conseguir una mayor visibilidad de las acciones y resultados de los grupos de investigación tanto en el ámbito nacional como internacional.
- Organizar conjuntamente actividades científicas (cursos, encuentros, debates, etc.) en temas relevantes que no estén incluidos en los planes de actuación de otras redes existentes o que sean de carácter interdisciplinar.
- Aunar esfuerzos y financiación para posibilitar acciones que vayan más allá del entorno de cada instituto, como la oferta de becas posdoctorales para estancias repartidas entre dos o más institutos de la red o las oportunidades de transferencia de conocimiento a otros ámbitos.
- Empezar de manera coordinada actuaciones de representación institucional que influyan en el progreso de las matemáticas.
- Estudiar y promocionar diversos aspectos de las matemáticas a través de la colaboración entre los institutos que componen la red.

Todos los institutos de la RedIUM poseen en común la voluntad de actuar conjuntamente en la formación de jóvenes investigadores e investigadoras, así como de buscar vías para facilitarles la incorporación laboral.

El personal investigador adscrito a los institutos es, en general, activo en investigación de las universidades que los acogen (aunque cuentan también con investigadores e investigadoras de otras universidades, a través de convenios bilaterales), junto con otro personal contratado. Su financiación es muy variable y surge en parte de los proyectos de investigación competitivos obtenidos por sus miembros, de contratos de investigación con empresas y por dotación anual fija (y/o por resultados) proveniente de sus propias universidades u otros organismos.

Al recoger los datos relativos al personal, hay que tener en cuenta que, fundamentalmente, está formado por el profesorado universitario adscrito a cada instituto. Resulta muy complicado hacer un análisis evolutivo del personal de los institutos de RedIUM, dada la diversidad característica de cada uno de ellos, que cada uno ha sido generado en distintos años (por ejemplo, del IMUEX no ofrecemos datos al ser de reciente creación), etc. Otros aspectos que cabe mencionar es que, en algunos casos, los contratos predoctorales y posdoctorales están adscritos a los departamentos y no a los institutos, y es por ello que los números reflejados son inferiores a los que realmente están dirigidos por IP de institutos. Presentamos a en la figura 55 la situación de personal de RedIUM en el año 2017.

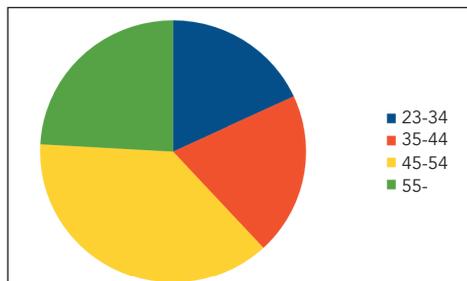
Figura 55. Distribución del personal de RedIUM en 2017



Sobre un total de 900 personas, el profesorado universitario son 761, lo que representa más de un 84%. El colectivo de personas contratadas predoctorales le sigue, con 98, casi un 11%. También obtenemos que las mujeres son 259, lo que representa algo menos de un 29%. La distribución del personal por edades en 2017 aparece representada en la figura 56, donde se observa una escasez de plantilla joven en RedIUM, motivado por el hecho comentado anteriormente,

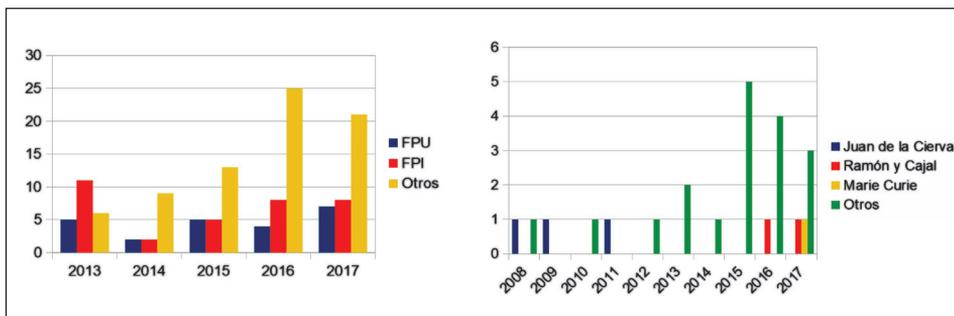
que el personal predoctoral y posdoctoral está adscrito en varios casos a departamentos y no a institutos.

Figura 56. Distribución por tramos de edad del personal de RedIUM en 2017



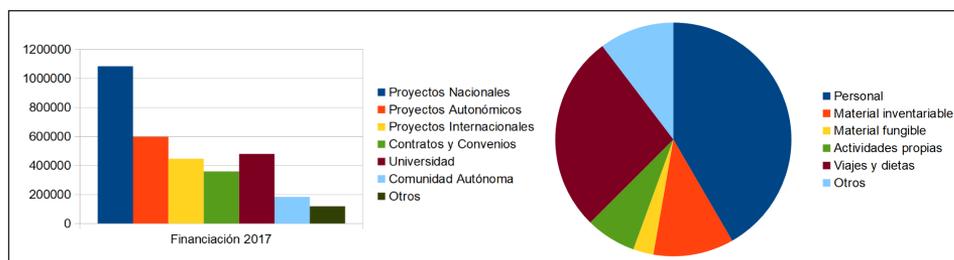
En lo que concierne a la contratación de personal joven investigador, una vez más los datos vienen sesgados por las adscripciones a departamentos. En la captación de contratos predoctorales hemos recogido los datos del último quinquenio, 2013/2017, del periodo de estudio y para los posdoctorales, el decenio 2008/2017, tal y como aparecen en la figura 57:

Figura 57. Evolución de la captación de contratados predoctorales (2013/2017) y posdoctorales (2008/2017)



Los datos de las fuentes de financiación en RedIUM vienen igualmente sesgados por la diferente situación de los institutos, donde en algunos casos (IEMath-Gr, IMI, IMUB, IMUS, IUFFyM y IUMA) los institutos no gestionan directamente proyectos competitivos ni convenios. Las fuentes y el gasto en 2017 están distribuidos como aparece en la figura 58:

Figura 58. Fuentes de financiación y distribución del gasto en 2017



Podemos, por tanto, observar que el grueso de la financiación proviene de los proyectos nacionales, a pesar de la situación indicada de los institutos que no gestionan proyectos. La distribución del gasto del año 2017 que puede observarse en la gráfica siguiente, refleja también que la mayor parte del gasto se dedica al pago del personal propio, seguido de viajes y dietas.

RedIUM es la estructura que aglutina el mayor porcentaje de investigadores e investigadoras en matemáticas. En consecuencia, presenta una gran diversidad y resulta complicado resaltar las fortalezas de los institutos de RedIUM globalmente. Los temas comunes los podríamos resumir en:

- Gran agilidad de puesta en marcha de iniciativas y nuevos programas.
- Excelente actividad generada en términos de publicaciones, proyectos, contratos con empresas y formación de personal investigador.
- Óptimo rendimiento y eficacia en resultados científicos y de formación de personal investigador relativo a la financiación recibida.
- Contar con un sólido apoyo institucional por parte de las respectivas universidades y, a su vez, disponer de mejores posibilidades de acceso a becas y ayudas de las propias universidades.

Algunas de las debilidades mencionadas no lo son realmente de los institutos de RedIUM, sino del sistema de financiación y contratación español:

- Dificultades administrativas para contratar personal investigador del extranjero, con el añadido de que los salarios españoles no son competitivos en comparación con otros países.
- La crisis económica ha hecho difícil la consolidación de los miembros jóvenes.
- La financiación depende demasiado del sector público.

- Hay pocos recursos eficientes para el cálculo científico intensivo.
- El sector empresarial no es completamente consciente de los beneficios de las matemáticas.
- Dificultades para acceder a las distinciones de excelencia María de Maeztu o Severo Ochoa, dado el modelo actual tan restrictivo de las normativas reguladoras.

Las propuestas de mejora consistirían en:

- Aumentar la participación en proyectos públicos competitivos a nivel regional, nacional e internacional.
- Impulsar la transferencia hacia la industria y la sociedad, especialmente en sectores como telecomunicaciones, salud, transporte, energía y aeronáutica.
- Flexibilización de la contratación de personal investigador incorporando a personas del extranjero.
- Incentivar la participación de mujeres matemáticas.
- Mejorar la obtención de recursos del sector privado.

#### 5.4. ICREA e IKERBASQUE

Las dos instituciones por excelencia que tienen programas de captación de talento sénior son ICREA e IKERBASQUE.

En particular, BCAM se nutre de personal consolidado exclusivamente a través de IKERBASQUE, mientras que ICREA proporciona talento no solo al CRM, sino también a las universidades catalanas.

**IKERBASQUE:** en 2007, el Gobierno Vasco lanzó IKERBASQUE para ayudar a desarrollar la investigación científica mediante la atracción y recuperación de investigadoras e investigadores excelentes. Su misión es reforzar la ciencia en Euskadi en cooperación con los centros de investigación y universidades comprometidos con la excelencia.

En el análisis de los datos recibidos no es posible hacer una separación entre matemáticas e ingeniería, pues en las convocatorias de Ikerbasque ambas van juntas. Ahora bien, el personal contratado sí ha sido separado por áreas y, por tanto, se ha podido analizar al matemático. En esta convocatoria, la media de

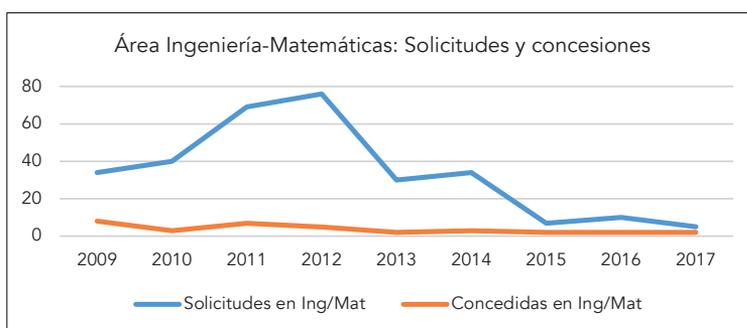
solicitudes de matemáticas e ingeniería está en el 12,8% de las solicitudes totales y la tasa de éxito media de los evaluados en esta área está en el 15,9%.

Tabla 10. Distribución solicitudes Ikerbasque por áreas

Research Professors -Senior	Total solicitudes 2007/2017	
	Áreas	Número de ayudas solicitadas
Física	1.414	51,32
Ciencias médicas y de la vida	629	22,82
Ciencias sociales y humanidades	357	12,98
Matemáticas e ingeniería	355	12,88
Total solicitudes	2.755	

Además, es importante indicar que ha habido un descenso muy grande en el número de solicitantes de todas las áreas pasando de 445 solicitudes en el año 2011 hasta 42 solicitudes en 2018. Con respecto a matemáticas hubo alrededor de 65 solicitudes en 2011 y en 2012 hasta tan solo 5 solicitudes en 2018. Esto puede observarse en la figura 59. La razón por la que esto sucede es porque en los últimos años se ha puesto una condición de cofinanciación por parte de los centros de acogida y una condición imprescindible para poderse presentar es la emisión de una carta de aceptación del centro. Por otro lado, los centros comienzan a saturarse de personal y no aceptan tantas candidaturas como antes.

Figura 59. Solicitudes y concesiones en Ikerbasque



Desde 2009 se han contratado 11 investigadores e investigadoras de matemáticas con una edad media, en el momento del contrato, de 41 años y una

edad media actual de 46. El 91% son hombres y el 36% proceden de España. La captación de talento extranjero es fundamentalmente de Europa. El 64 % de los contratados son del área de matemática aplicada, lo cual es razonable pues el 73% es personal del BCAM.

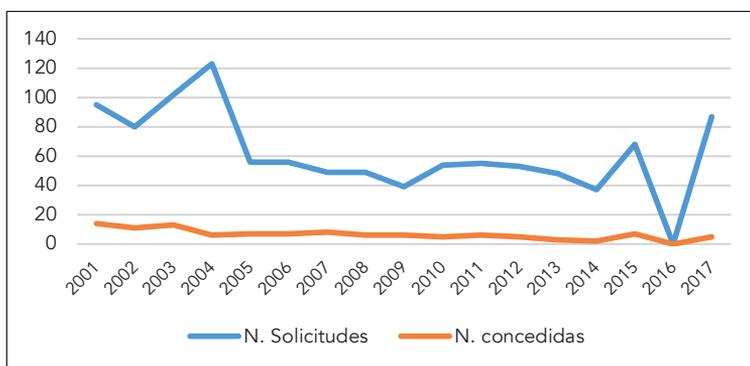
Se ha de mencionar que, desde 2012, Ikerbasque tiene también una convocatoria de captación de talento joven. Se han contratado 7 personas con una edad media en el momento de empezar el contrato de 36,9 años y una edad media actual de 40 años. El 57% es de nacionalidad española y el 43% restante, ciudadanía europea. El 71% son hombres.

En esta convocatoria, la media de solicitudes de matemáticas e ingeniería está en el 12% de las solicitudes totales y la tasa de éxito de las y los evaluados en esta macroárea está en el 9,7%.

**ICREA** (Institución Catalana de Investigación y Estudios Avanzados): *es una fundación que trabaja de la mano de las universidades y centros de investigación catalanes para integrar al profesorado de investigación ICREA en el sistema de investigación catalán.*

La convocatoria de captación de talento sénior comenzó en el año 2001 a razón de una convocatoria por año, si bien desde 2015 se van intercalando los diferentes paneles. Desde 2001, el total de solicitudes recibidas han sido 3.736, de las cuales el panel de Ciencias Experimentales y Matemáticas recibió 1.051 distribuidas anualmente como puede observarse en la figura 60:

Figura 60. Solicitudes/concesiones ICREA



La tasa de éxito del panel de Ciencias Experimentales y Matemáticas fue del 11%. Ahora bien, hemos de mencionar que en la actualidad la tasa de éxito global es del 5% debido a que el volumen de plazas que se ofrecen anualmente ha disminuido (ahora son solamente 10), mientras que el número de solicitantes no lo ha hecho.

En lo que respecta al área exclusivamente de matemáticas, se han contratado 15 investigadores e investigadoras con una edad media en el momento del contrato de 40,4 años y una edad media actual de 50,1.

Solo hay una mujer ICREA en matemáticas, es decir, un 6% de los ICREA del área.

## **6. ANÁLISIS DE LAS PUBLICACIONES**

El estudio se ha realizado utilizando como fuentes de información las bases de datos de MathSciNet y de Clarivate Analytics (fundamentalmente, InCites). MathSciNet es una base de datos online especializada en matemáticas que reúne a nivel internacional la literatura matemática publicada desde 1940 hasta la actualidad. InCites es una herramienta de análisis bibliométrico que recoge toda la producción científica de una institución incluida en la base de datos Web of Science desde 1981 hasta el momento actual.

En la base de datos MathSciNet se ha conseguido la producción científica matemática en España mediante la búsqueda de documentos con firma española publicados durante el periodo 2000/2017. En InCites, por otro lado, se ha recuperado la producción científica matemática en España mediante la búsqueda de artículos publicados en revistas JCR y también en revistas indexadas en Web of Science con alguna firma española durante el periodo 2000/2017.

Entre los distintos tipos de documentos o publicaciones que distinguen las distintas bases de datos, en este estudio nos centraremos en los artículos.

### **6.1. Producción matemática en MathSciNet**

En la tabla 11 se recogen exclusivamente los artículos en revistas que contiene la base de datos MathSciNet por tres décadas (la anterior al estudio, la primera y la última del periodo estudiado).

Tabla 11. Producción de artículos en revistas de matemáticas por décadas

Década	España	UE	% España/UE	Mundial	% España/Mundial
1990-1999	11117	140175	7,93 %	481504	2,31 %
2000-2009	23789	217739	10,93 %	709043	3,36 %
2008-2017	31821	275105	11,57 %	921104	3,35 %

Se puede observar que la aportación relativa (en porcentaje) respecto a la Unión Europea ha ido creciendo en cada una de las décadas, y respecto a la mundial ha habido un muy ligero descenso porcentual en la última, debido sin duda a la reciente pujanza productiva de países como China.

La distribución de la producción matemática según el tipo de publicación, recogida en la base de datos MathSciNet, distingue tres tipos de publicaciones: artículos en revistas, libros y actas de congresos. La aportación española correspondiente al periodo 1990/1999 respecto a la mundial (UE) fue, respectivamente, de 2,31% (7,93%), 0,64% (3,63%) y 2,8% (7,83%). En el decenio 2008/2017 pasó a ser de 3,35% (11,57%), 1,63% (7,11%) y 3,36% (7,79%), respectivamente.

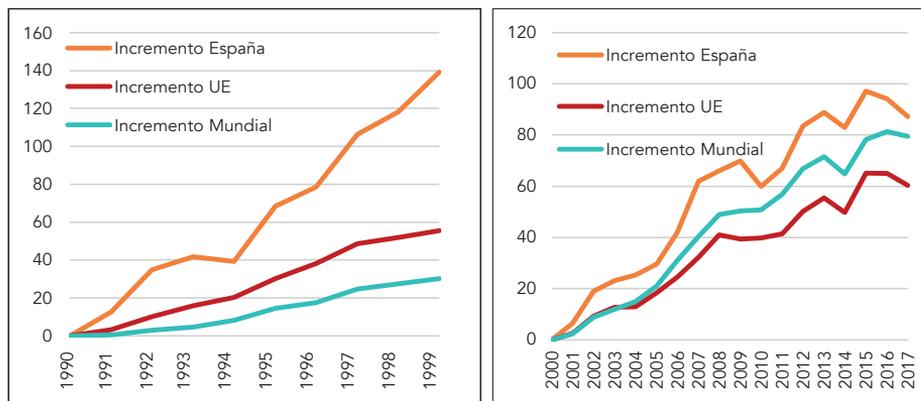
Es importante destacar también cómo se distribuye internamente la producción española en cada uno de los dos decenios mencionados, siendo de 73%, 1%, 26% en 1990/1999 para pasar a 89%, 1% y 10% en 2008/2017, respectivamente, de artículos en revistas, libros y actas de congresos. Esta diferencia en el reparto se puede deber, en gran parte, a los criterios para la obtención de tramos de investigación, de acreditaciones nacionales, etc.

#### *a) Comparación entre la producción matemática mundial y la española*

A continuación, analizamos la evolución anual de la producción matemática de artículos (española, europea y mundial) durante los periodos 1990/1999 y 2000/2017, según MathSciNet.

La producción española se incrementó en aproximadamente un 139% durante la década de los 90, mientras que la producción de la UE lo hizo en un 56% y la mundial, en un 30%. En comparación, la producción española se ha incrementado en aproximadamente un 87% en el periodo 2000/2017, la producción de la UE lo ha hecho en un 60% y la mundial, en un 80%.

Figura 61. Evolución porcentual de la producción matemática en 1990/1999 y 2000/2017



## 6.2. Bases de datos de Clarivate Analytics

Para obtener la producción matemática en España durante el periodo 2000/2017 de la base de datos InCites, se ha limitado la búsqueda de resultados solo a artículos, con algún firmante en entidad española, publicados en revistas JCR durante el periodo 2000/2017 del área “Mathematics”, según el esquema “Essential Science Indicators”. Se obtienen 24.581 artículos.

En primer lugar, se estudia la evolución de la producción matemática en España con la producción matemática mundial durante los periodos 1990/1999 y 2000/2017 según InCites. En el primer periodo, pasamos de 264 artículos en 1990 en España, siendo 14.126 el mundial, lo que representa un 1,87%, a 826 sobre 19.598 (4,21%) en 1999, luego la producción española se incrementó en un 213% y la producción mundial lo hizo en un 39% en esa década.

La aportación matemática española ha pasado de representar el 3,03% de la producción matemática mundial en la década de los 90 al 4,38% en el periodo 2000/2017. A pesar de ello, en los últimos seis años de este segundo periodo, la producción española se ha quedado esencialmente estabilizada alrededor de los 1.700 artículos por año.

La producción matemática española se ha incrementado en un 91%, mientras que la producción matemática mundial lo ha hecho en un 124%. Para tener una visión más amplia de la contribución de la investigación matemática española a la investigación matemática mundial, así como poder comparar esta contribución

de España con la de otros países con mayor número de artículos en matemáticas, ampliamos el rango de búsqueda a todos los artículos de matemáticas que están indexados en Web of Science (lo cual recoge algunos más que los publicados en revistas JCR) en el periodo 2000/2017 dentro del área “Mathematics”, según el esquema “Essential Science Indicators”, y se han recogido en la tabla 12 los siguientes datos:

- Porcentaje de la producción matemática nacional respecto de la producción matemática mundial, según InCites.
- Posición de la contribución de la investigación matemática nacional a la investigación matemática mundial dentro de las 22 áreas del esquema “Essential Science Indicators”. Entre estas áreas se considera el área “Multidisciplinary” para aquellas revistas que no tienen un área predominante y no se pueden ubicar en alguna de las otras.

**Tabla 12. Repercusión producción matemática nacional respecto a la producción matemática mundial en 2000/2017**

País	Artículos Matemáticas	"% relativo Nacional - Mundial"	Posición de Matemáticas
Estados Unidos	141.919	23,97 %	17
China	97.248	16,43 %	5
Francia	49.608	8,38 %	2
Alemania	41.250	6,97 %	13
Reino Unido	32.484	5,49 %	19
Italia	30.912	5,22 %	5
Rusia	27.178	4,59 %	5
Japón	27.087	4,58 %	17
España	25.295	4,27 %	7
Canadá	25.059	4,23 %	15
Mundial	59.2051		

A la vista de los resultados, España ocupa la posición 9 mundial en cuanto a producción en ese periodo, y matemáticas es la séptima disciplina en España con mayor repercusión en la producción mundial. Esto es, en España hay seis áreas cuya producción española tiene un peso mayor a 4,27% en la producción mundial.

La tabla 13 recoge el peso de la producción española en la mundial y europea en cada una de las áreas en el periodo 2000/2017. Es un hecho destacable que la matemática española esté en posición 7 entre las 22 áreas científicas, tanto en atención a la producción relativa a la mundial como a la europea (EU-28) en el periodo 2000/2017.

**Tabla 13. Comparativa productiva de España con el mundo y con Europa en el periodo 2000/2017. Entre paréntesis, posición relativa a Europa**

Posición	Área	España	Mundial	% relativo mundial	EU-28	% relativo EU-28
1	Space Science (2)	17.318	219.962	7,87 %	118.093	14,66 %
2	Agricultural Sciences (1)	33.498	542.029	6,18 %	178.603	18,76 %
3	Environment/Ecology (3)	28.324	590.747	4,79 %	220.556	12,84 %
4	Computer Science (4)	24.474	535.561	4,57 %	193.625	12,64 %
5	Plant & Animal Science (5)	46.128	1.028.217	4,49 %	374.029	12,33 %
6	Economics & Business (8)	15.835	360.640	4,39 %	148.233	10,68 %
7	Mathematics (7)	25.295	592.051	4,27 %	233.112	10,85 %
8	Immunology (11)	12.937	329.191	3,93 %	131.049	9,87 %
9	Microbiology (10)	10.565	271.034	3,90 %	101.889	10,37 %
10	Chemistry (6)	91.661	2.404.360	3,81 %	761.664	12,03 %
11	Neuroscience & Behavior (17)	24.497	682.546	3,59 %	271.941	9,01 %
12	Psychiatry/Psychology (13)	18.772	524.720	3,58 %	196.309	9,56 %
13	Physics (14)	59.798	1.691.697	3,53 %	631.845	9,46 %
14	Geosciences (18)	20.710	610.619	3,39 %	239.999	8,63 %
15	Molecular Biology & Genetics (16)	19.993	603.419	3,31 %	220.835	9,05 %
16	Engineering (9)	52.485	1.653.528	3,17 %	499.191	10,51 %
17	Pharmacology & Toxicology (12)	14.774	471.726	3,13 %	149.937	9,85 %
18	Biology & Biochemistry (20)	30.576	1.007.138	3,04 %	356.422	8,58 %
19	Social Sciences, general (19)	33.537	1.155.559	2,90 %	389.387	8,61 %
20	Clinical Medicine (22)	101.368	3.521.914	2,88 %	1.305.531	7,76 %
21	Materials Science (15)	27.863	1.100.982	2,53 %	306.444	9,09 %
22	Multidisciplinary (21)	621	29.847	2,08 %	7.450	8,34 %

### 6.3. Impacto científico de la producción matemática española

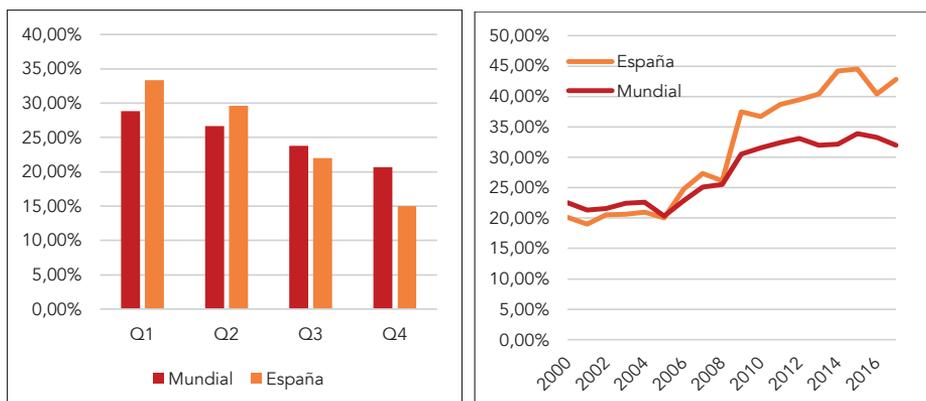
La base de datos InCites permite obtener datos de publicaciones con las revistas clasificadas por cuartiles, respecto al año de publicación. Aquí volvemos a limitar la búsqueda a artículos publicados en revistas JCR durante el periodo 2000/2017 del área “Mathematics”, según el esquema “Essential Science Indicators”. En la tabla 14 se muestra las distribuciones de las producciones española y mundial por cuartiles durante el periodo 2000/2017.

Tabla 14. Distribuciones de las producciones matemática española y mundial por cuartiles

Cuartil	Artículos España	Artículos mundial	% Artículos respecto al total España	% Artículos respecto al total mundial
Q1	8.202	161.821	33,37%	28,82%
Q2	7.279	149.778	29,61%	26,68%
Q3	5.410	133.702	22,01%	23,81%
Q4	3.690	116.140	15,01%	20,69%

Presentamos un gráfico de barras comparando las dos distribuciones anteriores y otro gráfico donde se aprecia la evolución de porcentajes en Q1 española y mundial. Se observa que la distribución española está más desplazada hacia el primer y segundo cuartiles que la distribución mundial:

Figura 62. Distribución por cuartiles de la producción matemática en el periodo 2000/2017 y evolución de la producción matemática en revistas Q1



Por tanto, se puede apreciar claramente cómo las publicaciones en revistas JCR de matemáticas de España se han ido orientando cada vez más hacia el primer cuartil, superando en casi 10 puntos porcentuales a la mundial. Además, junto con Q2, observamos que en el último quinquenio del periodo, más del 70% de las publicaciones se encuentran en la primera mitad, según impacto de revistas JCR.

Tanto o más importante que publicar en revistas de alto impacto es analizar las citas recibidas por las publicaciones españolas, comparándolas con las medias mundiales, o con las citas recibidas por las publicaciones de los países de mayor relevancia mundial en matemáticas.

En primer lugar, analizaremos la evolución de la posición de España en cuanto a impacto científico (citas). Lo haremos comparando el quinquenio 1995/1999 con el 2013/2017:

**Tabla 15. Artículos, citas actuales y posición de países según citas en los periodos 1995/1999 y 2013/2017**

País	Artículos 1995-99	Citas a artículos en 1995-99	País	Artículos en 2013-17	Citas a artículos en 2013-17
Estados Unidos	28.852	619.125	Estados Unidos	46.091	187.565
Francia	8.827	137.350	China	45.763	161.096
Alemania	7.859	117.029	Francia	16.293	62.447
Reino Unido	5.532	109.739	Alemania	14.429	56.933
Canadá	4.829	78.675	Italia	10.809	49.340
Israel	2.247	71.503	Reino Unido	11.472	47.638
Italia	4.352	60.804	España	8.611	30.112
China	5.394	53.345	Canada	7.978	28.500
Japón	4.759	49.625	Japón	8.723	23.061
España	3.331	43.292	Arabia Saudí	4.123	21.978

Es decir, España ha pasado de estar en posición 10 en el quinquenio 1995/1999 a posición 7 en 2013/2017, según impacto científico, lo cual es una posición muy destacada.

Finalmente ofrecemos unos datos de impacto normalizado (impacto en citas normalizado por año dentro del área), el porcentaje de artículos que han obtenido citas, el percentil medio de todas las publicaciones y el porcentaje de colaboraciones internacionales en el periodo 2000/2017.

Tabla 16. Otros datos bibliométricos de la producción matemática española en el periodo 2000/2017

Artículos	Impacto normalizado	% Artículos citados	Percentil medio	% Colaboraciones internacionales
25.295	1,02	83,47 %	51,8	48,48%

## 7. ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA MATEMÁTICA EN ESPAÑA

### 7.1. Objetivos y metodología

Varios informes señalan el impacto significativo de las matemáticas en el empleo y el valor añadido. Se estima que 2,8 millones de empleos en el Reino Unido, el 9% del total, utilizan habilidades matemáticas y su contribución al PIB (producto interior bruto) en 208.000 millones (16%). Cifras que han sido corroboradas por otro estudio reciente en Francia, que estima su impacto en el 15% del PIB francés y el 9% del empleo total. En el caso de España, un reciente informe señala que el impacto de las actividades con intensidad matemática se situó en el 10,1% del total en 2016, en términos de Valor Añadido Bruto (VAB), mientras que generaron un millón de ocupaciones, lo que representó el 6% del empleo total de la economía española. Estas cifras, aun siendo menores que las de otros países europeos de nuestro entorno, deberían hacer que las industrias que aún no han incorporado las matemáticas en toda su estructura reconsideren sus estrategias, ya que el uso de tecnologías matemáticas avanzadas será la clave para su supervivencia y éxito frente a sus competidores.

El objetivo de este estudio es mostrar la capacidad y experiencia que tienen diferentes grupos de investigación españoles para realizar transferencia de conocimiento y tecnología a la industria y cómo se vio afectada por la crisis económica del 2008.

Nos basaremos en la capacidad de los diferentes grupos de captar recursos privados a través de proyectos o contratos con empresas (aun cuando parte del importe total del proyecto o contrato tenga cofinanciación pública).

Sería de desear el poder hacer un estudio dentro del ámbito de todas las matemáticas para medir el impacto de las matemáticas en el empleo y el valor añadido de la economía española, aunque este estudio es hoy por hoy demasiado ambicioso.

Debido a ello, hemos realizado un análisis utilizando diferentes fuentes de información que dividimos en tres partes, siendo conscientes de que, aunque sí podemos decir que todo lo recopilado en este estudio es transferencia matemática a la industria española, no es un estudio exhaustivo de ella y, por lo tanto, no toda la matemática industrial que se desarrolla en España aparece aquí. En la primera parte presentaremos la información obtenida a través de las unidades u oficinas de transferencia de cada una de las universidades, en la segunda parte la información recogida con apoyo de la infraestructura de la Red math-in y en la tercera la recibida por algunos de los centros de investigación analizados en este capítulo.

Finalmente, hemos de comentar que tal y como aparece reflejado en la página web del ministerio, el programa Torres Quevedo recoge ayudas de una duración de tres años a empresas, centros tecnológicos de ámbito estatal, centros de apoyo a la innovación tecnológica de ámbito estatal, asociaciones empresariales y parques científicos y tecnológicos para la contratación laboral de personas doctoradas que desarrollen proyectos de investigación industrial, de desarrollo experimental o estudios de viabilidad previos, a fin de favorecer la carrera profesional de las y los investigadores, así como estimular la demanda en el sector privado de personal suficientemente preparado para acometer planes y proyectos de I+D y ayudar a la consolidación de empresas tecnológicas de reciente creación. (Fuente: <http://www.ciencia.gob.es/portal/site/MICINN/>).

Desde el año 2011 hasta el 2017 se han concedido 1.680 ayudas de las cuales únicamente 3 fueron al ámbito de las matemáticas.

Estos datos son claramente una debilidad y se debería apostar por potenciar este programa en el área.

## **7.2. Transferencia del conocimiento de las universidades a las empresas**

Aunque la recogida de información sobre la transferencia que se realiza desde nuestras universidades no es algo en lo que la comunidad matemática tenga una larga tradición. En este documento se han analizado los datos obtenidos a través

de las unidades o servicios de transferencia solicitados a todas y cada una de las universidades españolas. Es importante mencionar que la acogida a esta petición no ha sido completa, si bien la participación ha sido del 72%.

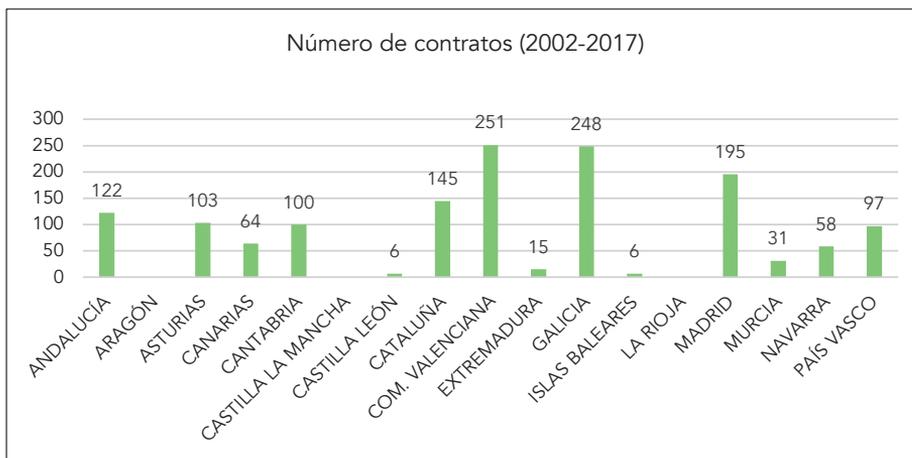
#### *a) Metodología*

- Se elaboró un documento en el que se solicitaban a las unidades y oficinas de transferencia el número de contratos y convenios que se hubieran firmado en el seno de cada universidad acogiéndose al artículo 83 de la LOU, así como las patentes en las que el IP fuera matemático o matemática desde enero de 2002.
- Se distribuyó la petición a través de la CRUE con la colaboración del rector de la Universidad de Barcelona, siendo la primera solicitud dirigida directamente a los rectores.
- Posteriormente, se volvió a solicitar la información a través de los vicerrectores de investigación.
- Se han tenido en cuenta todos aquellos casos en los que el IP fuera matemático o matemática, intentando disgregarlos por áreas de conocimiento.
- Se presentan los resultados por comunidades autónomas para poder comparar lo obtenido por este camino con lo presentado en el siguiente apartado. Hay que tener en cuenta que los periodos analizados son diferentes; mientras en el siguiente apartado se utilizan datos del periodo 2008/2018, en este apartado esos datos se refieren al periodo 2002/2018.

#### *b) Resultados*

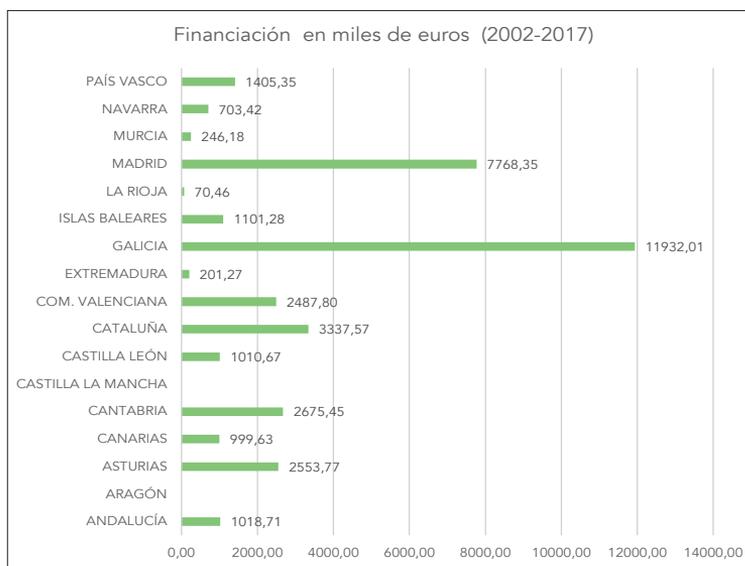
La distribución respecto al número de proyectos/convenios/contratos firmados con empresas bajo el amparo del artículo 83 de la LOU desde el 2002 por comunidades autónomas es el que aparece en la figura 63.

**Figura 63. Distribución de contratos/convenios art. 83 LOU por CC. AA.**



En cuanto a la captación de fondos proveniente de estos proyectos/convenios/contratos queda reflejada en la figura 64.

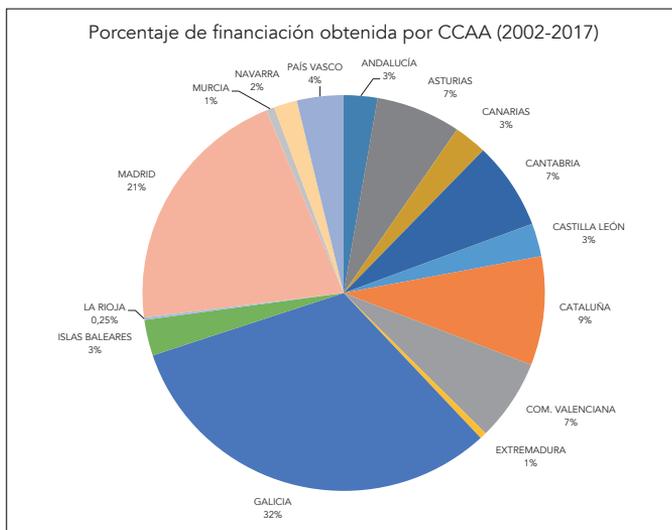
**Figura 64. Captación de fondos art. 83 LOU por CC. AA. (en miles de euros)**



Si observamos estos datos en cuanto al porcentaje de la captación de fondos que recae en cada comunidad autónoma, vemos que la distribución es irregular y que hay comunidades autónomas como Galicia y Madrid que sobresalen

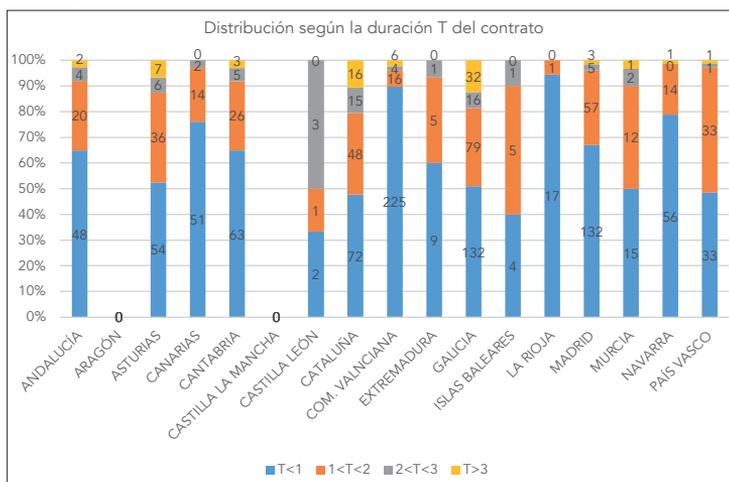
del resto. También es interesante observar los resultados en el Principado de Asturias, Cantabria y País Vasco, las tres con una única universidad pública, que alcanzan niveles más que aceptables.

**Figura 65. Captación de fondos porcentualmente art. 83 LOU por CC. AA.**  
(en miles de euros)



La duración media de los contratos varía sustancialmente entre comunidades autónomas tal y como se aprecia en la figura 66.

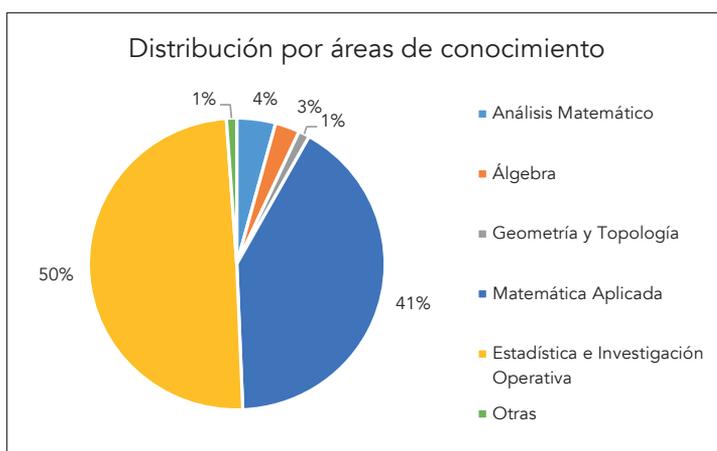
**Figura 66. Duración de los contratos y convenios art. 83 LOU**



De manera general, en todas las universidades que han respondido a la consulta, son los contratos inferiores a un año los más habituales (un 63% del total), seguidos por los que duran entre uno y dos años (2% del total). Por su parte, los que duran entre dos y tres años representan un 5% del total y siendo un 6% del total los de duración superior a los 3 años.

En cuanto a las áreas de conocimiento, estadística e investigación operativa y matemática aplicada son indiscutiblemente las más importantes tal y como se aprecia en la figura 67:

**Figura 67. Distribución según área de conocimiento del IP**



Para finalizar, señalar que el 80% de los IP son hombres, cifrándose la participación femenina en un 20%.

En la consulta que se realizó, también se solicitó el número de patentes que se han registrado por personal matemático en cada universidad. Desde el año 2002 hasta la actualidad, se han registrado 35 patentes en España por matemáticos, estando 33 de ellas lideradas por hombres y 2 por mujeres.

### 7.3. Matemática industrial a través de convenios y contratos con empresas

En la primera parte de este estudio hemos aplicado la siguiente metodología:

- (i) Usar los datos aportados por los diferentes grupos relativos a actividades desarrolladas, total o parcialmente, en el periodo 2008/2018. Con ello se complementa el informe de Quintela et al (2012a).

- (ii) Se ha analizado la transferencia de tecnología matemática, entendiendo que ello supone que el investigador o investigadora principal liderando la actividad pertenece a una de las cinco áreas de matemáticas, a saber, álgebra, análisis matemático, estadística e investigación operativa, geometría y topología o matemática aplicada, que son las encuadradas en el plan MTM nacional de matemáticas.
- (iii) Se ha hecho especial énfasis en todos los grupos de investigación que participaron en la Plataforma Consulting del Proyecto Consolider Ingenio Mathematica (i-MATH).
- (iv) Se han descartado todas aquellas entradas en la base de datos que no aportasen todos los datos; en particular, que no tuviesen cuantía o empresa, puesto que solo se ha considerado que un proyecto, contrato o convenio es de transferencia si hubo una empresa que financiase total o parcialmente el proyecto.
- (v) Dado que el estudio que se presenta corresponde al periodo 2008/2018, únicamente se han considerado, en el análisis presentado en este documento, aquellos cuya vigencia incluyese algún año en ese espacio de tiempo.
- (vi) Como el estudio objeto de este informe es el análisis de la transferencia de tecnología matemática en España, únicamente han sido tenidas en cuenta aquellas contribuciones en las que al menos una empresa tuviese una participación a través de la correspondiente aportación económica, en infraestructuras para la realización de pruebas experimentales o de personal.

Para la elaboración de este estudio se ha utilizado la infraestructura gestionada por math-in (la Red Española Matemática-Industria) a través de una base de datos dedicada a que los diferentes grupos de investigación socios de esta red introduzcan la información de las diferentes actividades de transferencia que llevan a cabo. Para dar una cobertura global a todos los grupos de investigación españoles en el ámbito de las matemáticas, se ha dado acceso a que otros grupos no socios de math-in pudiesen también aportar dicha información para cumplir con los objetivos marcados en este estudio. Para ello se han realizado varias campañas de divulgación de recogida de datos a través de la Red Estratégica de Matemáticas y de la propia Red Española Matemática-Industria.

Para ello, a mediados de abril de 2018, se contactó con los IP de los diferentes grupos, informando de la realización del presente estudio y de la importancia de aportar esa información, y se les asignó un usuario y una contraseña para acceder a la base de datos. Los datos que se tenían que aportar para cada proyecto, contrato o convenio de transferencia y, por tanto, en los que hubiera al menos una empresa implicada, eran: título, investigador o investigadora principal, fecha, sector, empresa y cuantía total de cada proyecto.

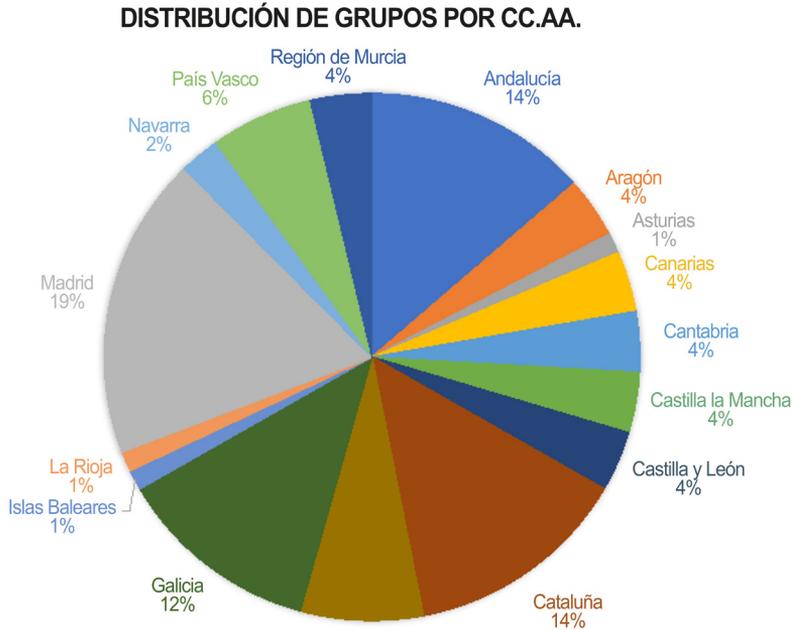
Tras hacer una primera revisión de toda la información que se introdujo en la base de datos de math-in en la campaña general, se realizó una segunda fase de captación de información para completar aquellos proyectos que tuviesen alguno de los campos indicados anteriormente vacíos o erróneos. Tras dar el tiempo suficiente para la subsanación de estos errores por los grupos de investigación implicados, se dio por finalizada esta parte del proceso a finales del mes de octubre de 2018. Todavía, y con el objetivo de facilitar que la información fuese lo más completa posible, se mantuvo abierto el proceso de recogida de información hasta finales de julio de 2019.

#### *a) Mapa de grupos de investigación*

En este estudio se han incluido los datos de 81 grupos de investigación pertenecientes a 34 universidades y centros de conocimiento españoles, distribuidos por 16 comunidades autónomas. Para ello se utilizó la base de datos que gestiona math-in, facilitando que dichos grupos, aunque no fuesen socios de esta red, pudiesen introducir la información de sus proyectos y contratos.

En la figura 68 se muestra la distribución de los grupos que realizan transferencia en el ámbito de las matemáticas según la comunidad autónoma en la que está adscrito su investigador o investigadora principal. Excepto en las comunidades de Ceuta, Extremadura y Melilla, en las demás se han registrado grupos de investigación que realizan transferencia efectiva a la industria.

Figura 68. Distribución de los grupos por comunidad autónoma



*b) Mapa de sectores de actividad y oferta de capacidades matemáticas y experiencia en transferencia*

En este informe se van a distinguir diferentes sectores de actividad. Para ello, se utilizará la clasificación de la European Industrial Activity Classification (NACE Rev.2), de igual modo que se hizo en Quintela et al (2012), de forma que los sectores considerados son los que se muestran en la figura 69. Se puede observar que de los 23 sectores únicamente en 2 de ellos (ganadería y gestión y conservación del patrimonio) no hay ninguna actividad de transferencia registrada.

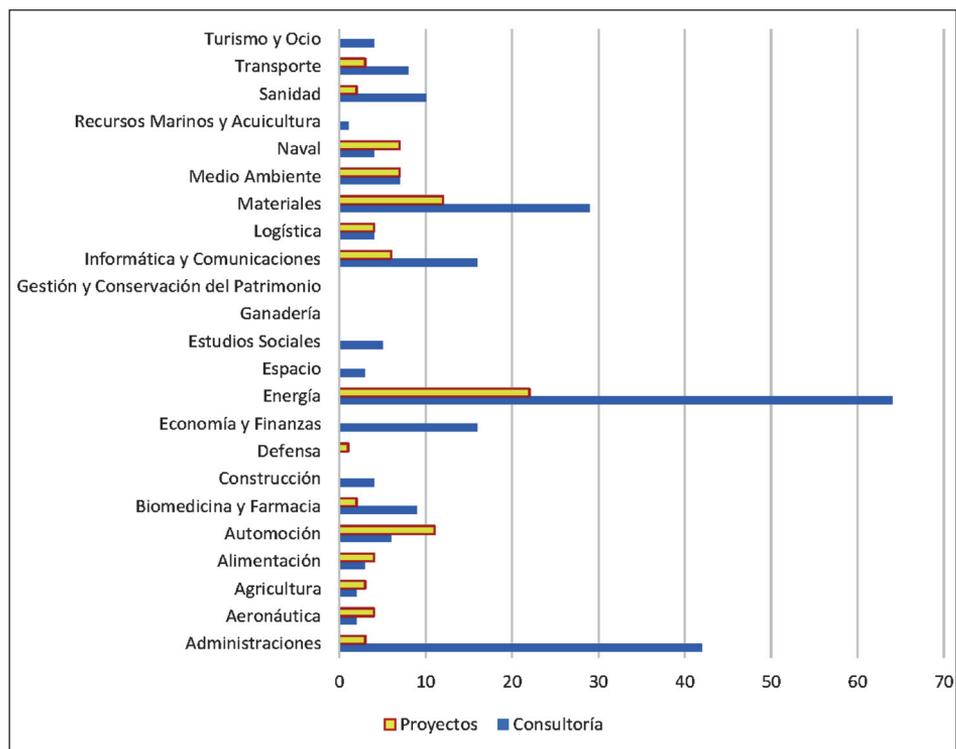
*c) Oferta de capacidades matemáticas y experiencia en transferencia*

Las matemáticas, y los grupos españoles identificados en este estudio, han demostrado que cubren la mayoría de los sectores de actividad enunciados en la sección anterior. En dicho apartado se muestra la experiencia de transferencia de tecnología matemática de los grupos españoles dependiendo del sector de actividad. Ese análisis lo haremos por sectores y también por grupos.

#### d) Oferta y experiencia por sectores

En el período 2008/2018 se han contabilizado 330 actividades de transferencia de tecnología matemática a la industria (239 catalogadas como consultoría y 91 como proyectos). En la figura 69 se muestran las experiencias de consultoría y los proyectos en función del sector de actividad en el que se enmarcan.

Figura 69. Número de experiencias y proyectos por sector



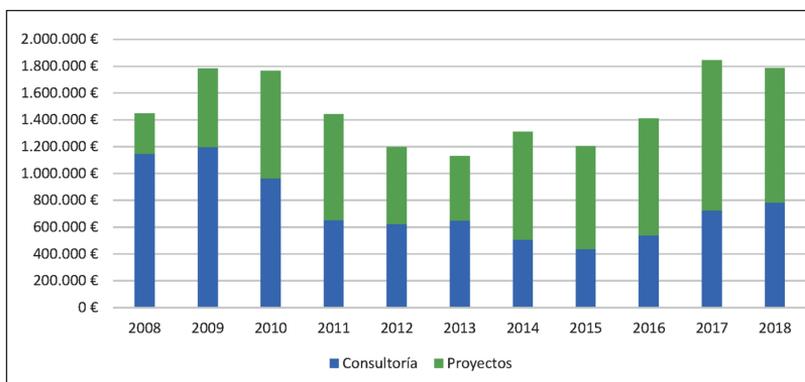
#### e) Análisis de la experiencia en transferencia

En esta sección se aborda la experiencia de los grupos de investigación incorporados en este estudio en relación con la capacidad de captación de recursos, tanto a través de contratos directos con empresas (consultoría) como a través de proyectos financiados en convocatorias públicas que cuentan con la participación de al menos una empresa (proyectos).

En el período considerado a través de las 330 actividades de transferencia contabilizadas se han captado un total de 16.327.435,93 euros (8.222.420,70 por contratos y 8.105.015,23 por proyectos), que corresponden a un valor medio anual de 1.484.312,36 euros (747.492,79 por contratos y 736.819,57 por proyectos).

En la figura 70 se muestran los recursos totales captados por año de ejecución a través de proyectos y de consultoría. Se observa un descenso en la captación de recursos a partir del año 2009 hasta el año 2013 y cómo, a partir de entonces, se empieza a recuperar.

Figura 70. Recursos totales captados



Entre los años 2008/2018 se han captado aproximadamente 8,2 millones de euros mediante las 239 experiencias de consultoría contabilizadas:

- Algo más de 5,1 millones corresponden a los grupos gallegos.
- Alrededor de 0,5 millones de euros, a los grupos de Castilla y León, País Vasco o Andalucía.

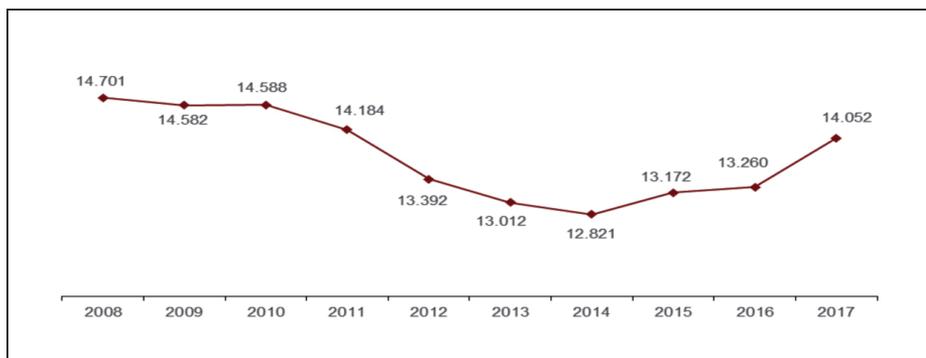
Por otra parte, aproximadamente 8,1 millones de euros han sido captados mediante los 91 proyectos contabilizados:

- 4,35 millones corresponden a los grupos gallegos.
- Casi 1,24 millones, a los grupos de Murcia.
- 0,6 millones de euros, a los grupos de Andalucía.
- Alrededor de 0,5 millones de euros, a los grupos vascos y canarios.

## f) Conclusiones

El efecto que la crisis tuvo sobre la transferencia de tecnología matemática, y analizada a lo largo de este informe, se puede ver como una consecuencia directa de la reducción de la inversión total en actividades de I+D. En la figura 71 se muestra la evolución total de la inversión en I+D en España entre los años 2008 a 2017, dada en millones de euros (ver INE), mientras que en la figura 33 aparece la cantidad global destinada a MTM desde el año 2000 al 2017.

Figura 71. Evolución del gasto en I+D interna. Total nacional



## 7.4. Matemática interdisciplinar y matemática industrial en los centros de investigación

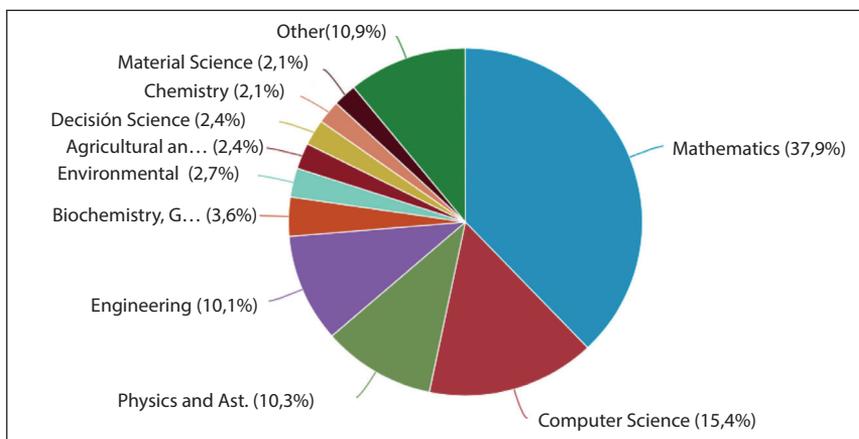
Además de la recogida de información explicada en los apartados anteriores, y en paralelo, se recabó información en los centros de investigación matemática ya analizados en este capítulo: CRM, BCAM, ICMAT e ITMATI. A continuación, presentamos el resumen de la información enviada por cada uno de ellos:

**BCAM** ofrece experiencia en muchos campos de investigación a PYMES y grandes grupos industriales, y apoya la creación de nuevas empresas. Como consecuencia, y para el desarrollo de soluciones matemáticas para desafíos científicos basadas en aplicaciones de la vida real, recientemente se ha creado la Unidad de Transferencia de Conocimiento (KTU Knowledge Transfer Unit) de BCAM con los siguientes objetivos:

- La KTU se caracteriza por la flexibilidad en términos de modelos de colaboración, trato personalizado, atención a las necesidades específicas de cada agente. Algunos ejemplos:
  - Asociaciones estratégicas.
  - Proyectos colaborativos de I + D + i.
  - Posiciones conjuntas / equipos de investigación.
  - Supervisión de estudiantes de máster y doctorado.
  - Cursos de formación.
  - Organización de actividades de difusión.
- Colaboración de transferencia. BCAM ha tenido colaboraciones con 29 entidades, tanto en contratos con empresas como proyectos con otros centros.

La investigación matemática interdisciplinar del BCAM puede visualizarse en la figura 72.

Figura 72. Matemática interdisciplinar en el BCAM



Prácticamente todos los grupos de investigación del CRM son, por vocación, de naturaleza interdisciplinar. Uno de los grupos está dedicado específicamente a la matemática industrial.

- Acciones en esta línea:

- Tiene una oficina de KTT cuya finalidad es fomentar las colaboraciones con empresas y otros institutos de investigación.
- Colaboración con la red Math-in, el Servicio de Estadística de la UAB y el Servicio de Consultoría Matemática de la UAB.
- Participación en el programa de Doctorados Industriales.
- Creación de una *start-up* (RheoDx) basada en una patente propia.
- Colaboración empresarial con más de 22 entidades.

Los objetivos de la unidad de KTT del CRM son:

- Colaborar en procesos de promoción de talento. Desde acogida a estudiantes de secundaria hasta la dirección de trabajos de grado, máster y tesis.
- Promover la interdisciplinariedad entre el personal investigador, a fin de colaborar al uso adecuado de las matemáticas en los diferentes ámbitos científicos.
- Actuar de promotor de innovación a través de los resultados de la investigación.
- Soluciones a problemas planteados desde la industria.
- Colaboración con proyectos de nuevas empresas en el proceso de valorización y mejora de resultados.

En línea con uno de los objetivos fundacionales, el ICMAT promueve el acercamiento entre los sectores científicos e industriales a través de distintas actividades de transferencia de tecnología matemática. Las áreas en las que personal investigador del ICMAT han transferido soluciones innovadoras hasta el momento incluyen la ciencia de datos, análisis de riesgos, *machine learning*, modelización y mecánica de fluidos. En particular, la colaboración con el sector empresarial/industrial y la interdisciplinariedad han adoptado en el ICMAT diferentes formatos hasta ahora:

- Asesoramiento y evaluación científica. Lanzamiento a principios de 2017 del DataLab: servicios estadísticos a otros institutos y centros de investigación como, por ejemplo, el Instituto de Química Médica y el Instituto de Salud Carlos III de Madrid, así como empresas.
- Personal investigador del ICMAT ha participado en dos proyectos colaborativos (FP7/H2020).

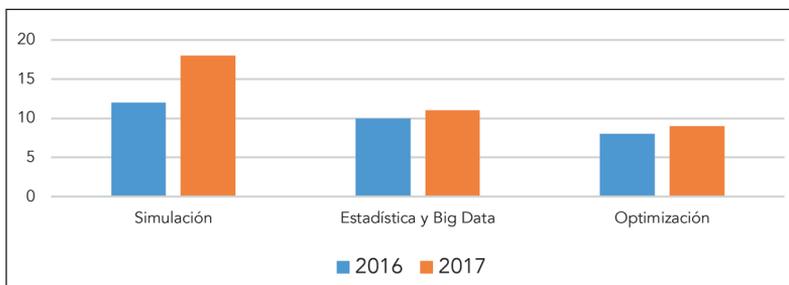
- Desarrollo de proyectos de I+D, a través de contratos y convocatorias financiados por distintas entidades y empresas nacionales e internacionales, para tratar una gran variedad de temas incluyendo el análisis de flujos oceánicos y atmosféricos, evaluación de ciberseguridad (desarrollo de plataforma de calificación), monitoreo de redes o *geoprofiling*.

La oficina de transferencia brinda el apoyo necesario para la preparación de propuestas relevantes, organización de eventos y preparación de reuniones con diferentes empresas y organizaciones y documentación necesaria.

La función de ITMATI es proporcionar soluciones a pequeñas y medianas empresas (PYMES), a grandes empresas, a industrias y a Administraciones públicas para apoyar la innovación y la mejora de la competitividad en el sector productivo, gracias al uso de herramientas desarrolladas desde la matemática industrial. Para ello, el centro cuenta con grandes expertos en los ámbitos de la matemática aplicada y la simulación numérica, la estadística y *big data* y la optimización, todos ellos con amplia experiencia y reconocido prestigio en el desarrollo de soluciones para el mundo de la empresa.

Los contratos y proyectos de transferencia en los años 2016 y 2017 agrupados por áreas estratégicas aparecen recogidos en la figura 73.

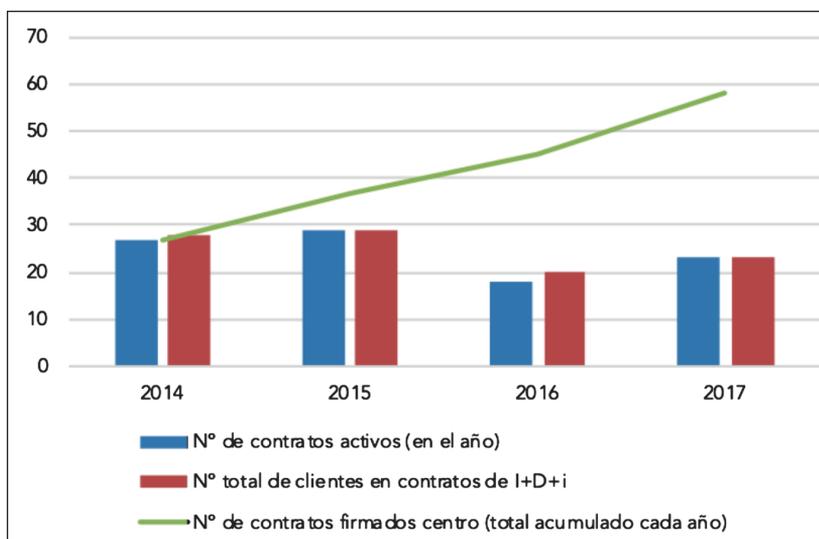
Figura 73. Proyectos y contratos de transferencia en ITMATI



- Acciones en esta línea:
  - Desarrollo de productos y soluciones.
  - Asesoría científica de alto nivel.
  - Colaboración en proyectos de I+D+i.
  - Contratos con más de 40 empresas.

El número de contratos de investigación y transferencia firmados con colaboradores industriales y otro tipo de entidades e instituciones aparece recogido en la figura 74.

Figura 74. Interacción ITMATI con el sector empresarial



## 8. REFERENCIAS

Andradas, C., Zuazua, E. “Informe sobre la investigación matemática en España en el periodo 1990-1999”, Comité Español para el Año Mundial de las Matemáticas, 2000.

Quintela, P., Fernández, A.B., Martínez, A., Parente, G. y Sánchez, M.T. 2012 (a), “TransMath - Innovative Solutions from Mathematical Technology”. Springer-Verlag Italia.

Quintela, P., Parente, G., Sánchez, M.T. y Fernández, A.B., 2012 (b), “Soluciones matemáticas para empresas innovadoras. Catálogo de servicios ofertados por investigadores españoles. McGraw Hill.”. McGraw Hill.

INE, “Estadística sobre Actividades en I+D”. Instituto Nacional de Estadística (INE) [En línea].

RSME, “Informe sobre los contratos Ramón y Cajal en matemáticas” <https://www.rsme.es/wp-content/uploads/2018/03/ramon-cajal-estudio-RSME.pdf>.

[http://ine.es/dyngs/INEbase/es/operación.htm?c=Estadistica\\_C&cid=1254736176744&menu=resultados&idp=1254735573113](http://ine.es/dyngs/INEbase/es/operación.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176744&menu=resultados&idp=1254735573113).

<http://www.educacionyfp.gob.es/servicios-al-ciudadano-mecd/estadisticas/educacion/universitaria.html>.

<https://www.educacion.gob.es/ruct/home>.

<http://www.ciencia.gob.es/portal/site/MICINN/menuitem.dbc68b34d11ccb5d52ffeb801432ea0/?vgnnextoid=b96552ab45a7e510VgnVCM1000001d04140aRCRD>.

# EL IMPACTO SOCIOECONÓMICO DE LA MATEMÁTICA EN ESPAÑA

Tomás Chacón Rebollo (Coordinador)  
Guillermo Curbera Costello (Coordinador)

Universidad de Sevilla

## 1. INTRODUCCIÓN

Las matemáticas han producido, en los últimos años, una revolución silenciosa en todos los sectores productivos, que está transformando la economía mundial. La intensidad creativa de las matemáticas se ha acelerado notablemente en los últimos tiempos, y por tanto su aplicación a otras disciplinas –física, química, ingeniería, etc.–, así como a las actividades productivas, ha sido exponencial. En este sentido es relevante señalar que las matemáticas subyacen al surgimiento y desarrollo de las sucesivas disrupciones tecnológicas acontecidas desde el siglo XVIII hasta la actualidad. La sociedad está inmersa en lo que se ha convenido en denominar como tercera revolución industrial, Internet, donde el protagonismo de las matemáticas es absolutamente central. En efecto, las ciencias de la computación, originadas a mediados del siglo XX, los algoritmos y el análisis de bases de datos masivas se encuentran en la base del funcionamiento de las actividades productivas más pujantes de nuestro tiempo. Por otra parte, el horizonte que trazan los avances de frontera en robótica e inteligencia artificial, intensivos en conocimiento matemático por propia definición, no harán sino impulsar en mayor medida si cabe la presencia de las matemáticas en el tejido productivo.

Delimitar y estimar de manera precisa la aportación de las matemáticas a la economía es una tarea ardua. El Producto Interior Bruto (PIB), que es el instrumento básico que mide habitualmente la actividad económica, presenta una limitación natural derivada de su propia construcción a la hora de valorar aquellos bienes que no transitan por el mercado, como, por ejemplo, los bienes públicos. En este sentido, la naturaleza intangible de las matemáticas –que dificulta su medición– y, sobre todo, su categoría de bien no rival (véase más adelante) –que las acerca a la categoría de bien público– impiden valorar su peso

con la lógica de la Contabilidad Nacional, que es el marco general de medición de la actividad económica y del bienestar, en el que el PIB constituye el indicador por excelencia.

Esta explicación pretende resaltar las dificultades metodológicas que entraña determinar la aportación de las matemáticas al proceso económico. Es también una señal de cautela, para advertir que los datos que se presentan a continuación parten de premisas menos ambiciosas, pues la medición del valor económico de las matemáticas solo puede formularse como una aproximación. Dicha aproximación –existen otras, pero fuera del marco de la Contabilidad Nacional y basadas en criterios subjetivos de preferencias– es la de los beneficios apropiables y tangibles para los agentes que detentan el conocimiento matemático y obtienen beneficios particulares de las mismas.

Este es el enfoque seguido por los estudios pioneros en este ámbito, que buscaban la estimación del peso que tiene la matemática en la economía y el empleo, en concreto, los informes siguientes:

- *Measuring the Economic Benefits of Mathematical Science in the UK*, realizado en 2012 por la empresa consultora Deloitte para el Council for the Mathematical Sciences, que agrupa a las sociedades matemáticas del Reino Unido.
- *Mathematical sciences and their value for the Dutch economy*, realizado en 2014 por la consultora Deloitte para la organización Platform Wiskunde Nederland, que representa a la comunidad matemática holandesa.
- *Etude de l'impact socio-économique des Mathématiques en France*, realizado en 2015 por la empresa consultora CMI, por encargo de una serie de organizaciones e institutos matemáticos francesas.

En España, la Red Estratégica en Matemáticas (REM) se configuró en 2016 como una red de todos los nodos de relevancia en la investigación y transferencia matemática en España, integrando de hecho a toda la comunidad investigadora en matemáticas, que contó con la financiación de la Agencia Estatal de Investigación. La REM estaba formada por:

- Centre de Recerca Matemàtica/ Barcelona Graduate School in Mathematics.
- Basque Center for Applied Mathematics.

- Instituto de Ciencias Matemáticas.
- Red de Institutos Universitarios de Matemáticas.
- Red Española Matemática-Industria.
- Centros Públicos de Educación Superior.

Todos estos centros estuvieron coordinados por el Instituto de Matemáticas de la Universidad de Sevilla (IMUS). Dentro de sus planes de acciones de posicionamiento estratégico para las matemáticas españolas, se desarrollaron seis acciones estratégicas, una de las cuales era realizar un estudio del impacto socioeconómico de la investigación y la transferencia de tecnología matemáticas en España, en línea con los estudios arriba mencionados en Reino Unido, Holanda y Francia. Los datos y las conclusiones que se presentan a continuación proceden de dicho estudio, que fue realizado por la empresa consultora Analistas Financieros Internacionales (Afi). Puede consultarse completo en <https://institucionales.us.es/remimus/>. La información más técnica de carácter metodológico aparece en el Anexo 7 del estudio.

## 2. MATEMÁTICAS Y ECONOMÍA

Las matemáticas son una herramienta de conocimiento y de comunicación que permite resolver problemas económicos vitales para el funcionamiento de una sociedad. Tienen, por tanto, una intensa presencia en la tecnología y la economía. Desde el procesamiento de datos de producción o consumo en un ordenador, al razonamiento lógico utilizado para justificar una u otra decisión de política económica, las matemáticas se encuentran presentes en la realidad cotidiana, posibilitando la propia existencia de relaciones económicas. Podría argumentarse que sin el lenguaje, los resultados y los conceptos matemáticos, los individuos no podrían realizar la inmensa mayoría de las transacciones económicas que tienen lugar habitualmente. Intentemos imaginar el funcionamiento de los mercados con la inexistencia de un sistema de precios, la coordinación de cadenas de distribución o el mantenimiento de una red de comunicaciones sin el apoyo del lenguaje de los números. Así, las matemáticas son un instrumento social que reduce de manera drástica los costes de transacción, posibilitando la interacción entre la oferta de bienes y servicios y la demanda de los mismos. De ahí el interés por entender la naturaleza económica de las matemáticas y la manera en que incide en las actividades económicas.

## 2.1. Naturaleza económica de las matemáticas

Las matemáticas tienen una doble naturaleza desde el punto de vista económico. Por una parte, son un bien público de club y, por otra, un bien privado. Veamos esto.

A semejanza de otras producciones colectivas (como también ocurre con la lengua), la investigación y el uso intensivo de las matemáticas presentan algunas características de bien público: una vez probado un resultado matemático, su uso no agota las posibilidades de uso posterior por otras personas, con independencia del tiempo o del lugar donde se haga. Es lo que se conoce como un bien “no rival”.

Sin embargo, a diferencia de otros bienes públicos puros –como puede ser el aire o la defensa nacional–, las matemáticas presentan un cierto coste de acceso –es decir, de aprendizaje– que restringe la entrada o incluso excluye a quien no lo conoce o no lo domina suficientemente. Estos costes son tanto más altos cuanto menor predisposición o capacidad de acceso tienen los individuos a su aprendizaje. Así pues, la existencia de los costes de acceso las sitúa como bien público de club. Sin embargo, a diferencia de la mayoría de dichos bienes públicos de club, no presenta economías de congestión, sino de adopción o red, es decir, cuantos más usuarios tienen, mayor es su valor.

Figura 1. Características de bienes privados y públicos

	<b>Exclusión</b>	<b>No exclusión</b>
<b>Rival</b>	<b>Bienes privados</b> Ropa Bienes alimenticios	<b>Bienes comunes de libre acceso</b> Parques públicos Aguas internacionales  <b>Bienes de congestión</b> Autopistas sin peaje Educación pública
<b>No rival</b>	<b>Bienes de club</b> Televisión de pago Clubes deportivos	<b>Bienes públicos puros</b> Defensa Investigación

Fuente: Af.

Las implicaciones de la naturaleza de las matemáticas como bien público de club son diversas. En primer lugar, el mercado no tiene capacidad para producir la cantidad óptima de transmisión de conocimiento, ni de investigación, al no existir “apropiabilidad” y solo exclusión parcial. Esta es una de las razones por las cuales la transmisión del conocimiento en matemáticas precisa de la intervención pública, para que sea provista en cantidades óptimas (educación básica, investigación, etc.) más allá de la que el mercado puede asignar. Las matemáticas estarían en la base de la pirámide del conjunto de ideas y conocimientos que tienen aplicaciones productivas. Las modernas teorías del crecimiento económico ligan la evolución de la renta per cápita a largo plazo a la tasa a la que se acumula ese conocimiento. El efecto económico es además proporcional a la población que puede tener acceso a la utilización de este recurso.

La transmisión de conocimiento matemático genera grandes externalidades positivas que no son habitualmente reconocidas en las estadísticas

Al no ser un recurso apropiable, no existe un valor de mercado que refleje la verdadera utilidad que representa para la sociedad. Este “fallo de mercado” viene determinado por su condición de bien cuasi-público y porque los sistemas de contabilidad nacional solo son capaces de medir bienes privados, es decir, aquellos que tienen asignado un precio de mercado. Otro “fallo de mercado” que dificulta la medición de la aportación de las matemáticas a la economía es que el conocimiento matemático genera externalidades positivas (es decir, beneficios indirectos en otros mercados no reflejados en los precios de las transacciones). Por ejemplo, la enseñanza de matemáticas permite que las personas tomen mejores decisiones (como en la administración de recursos), una utilidad que no se encuentra en el coste de la transferencia de conocimiento (el salario cobrado por un profesor o profesora de Matemáticas).

Así pues, las matemáticas como bien económico, guardan similitudes con el lenguaje ordinario y comparten sus cuatro características básicas, como se muestra en la figura 2.

Miremos ahora a la naturaleza económica de las matemáticas como bien privado. Esto proviene de la existencia de beneficios apropiables por los agentes económicos que detentan el conocimiento matemático. Las matemáticas, desde esta perspectiva, pueden ser entendidas como un activo que precisa de una

inversión inicial en aprendizaje (los costes de acceso) y que a lo largo de la vida de la persona que lo adquiere le genera una serie de flujos de beneficios tangibles.

Así pues, los individuos se enfrentan a la disyuntiva de “invertir” esfuerzo en el aprendizaje matemático, en función de cuál sea ese balance entre flujos de beneficios y costes. Cuando estas ganancias sean fácilmente predecibles y mayores a los costes, las personas invertirán en su educación matemática. Los costes de aprendizaje incluyen tanto los costes monetarios como el valor (coste de oportunidad) de las horas necesarias de esfuerzo para alcanzar el standard requerido. Por el lado de los beneficios, estos podrían expresarse como la diferencia de salario que obtiene a lo largo de la vida laboral el personal trabajador que adquiere estos conocimientos sobre el salario que podría obtener si no dispusiese de ese conocimiento.

Cuanto menores sean los costes de aprendizaje y mayores sean los beneficios retribuidos al conocimiento, mayores serán los incentivos a extender el stock de conocimiento matemático entre los miembros de una determinada comunidad

Figura 2. Características de las matemáticas como bien público



Fuente: Afi.

De lo anterior se deducen una serie de conclusiones relevantes. Entre ellas, que cuanto mayor sea el apoyo público para disminuir los costes de aprendizaje,

mayor será el incentivo a extender, el *stock* de conocimiento matemático entre los y las integrantes de una determinada comunidad. Por el lado de los beneficios, cuanto mayor sea la prima del salario que retribuya ese conocimiento, más incentivos existirán para que las personas *participen* embarcándose en el aprendizaje matemático.

La ventaja de esta aproximación a la naturaleza de las matemáticas como bien económico es que es conciliable con las métricas que dispone la Contabilidad Nacional, en cuanto los “salarios y beneficios” atribuibles a la matemática son observables gracias a la información estadística elaborada por las instituciones públicas.

## **2.2. Importancia de las matemáticas para las actividades productivas y la economía**

La economía es la disciplina de las llamadas ciencias sociales que se ocupa de la toma de decisiones y su interacción. Las matemáticas constituyen, por tanto, una herramienta fundamental para mejorar la toma de decisiones, así como un lenguaje fundamental que permite eliminar o reducir determinados costes de transacción. Por ejemplo, la programación matemática es un instrumento básico para lograr uno de los objetivos fundamentales de la ciencia económica como es la “asignación eficiente de recursos escasos”. Por otra parte, ámbitos de la matemática tan elementales como el álgebra matricial son de gran utilidad para la presentación y tratamiento de información en múltiples campos, desde la econometría a la contabilidad, así como para lograr una mejor gestión empresarial. Los modelos probabilísticos, por su parte, constituyen un instrumento fundamental para afrontar la toma de decisiones en contextos de incertidumbre y riesgo, como, por ejemplo, en el ámbito financiero.

Así, las matemáticas tienen una aplicación transversal a las actividades económicas. Hasta hace pocas décadas, su presencia era preponderante en las ramas industriales y de construcción, dada la intensidad matemática de las distintas ingenierías. Sin embargo, la revolución de Internet ha situado a las matemáticas como input fundamental de la producción, en tanto en cuanto los servicios –que representan en las economías desarrolladas cerca del 70% de la producción final de la economía– han ido incorporando de manera creciente tanto capital físico-tecnológico basado en matemáticas (tecnologías de la información y las comunicaciones, *softwares*, dispositivos electrónicos,

etc.), como capital humano matemático. Por ejemplo, el que se encarga de la realización de análisis de datos para distintas funciones empresariales, desde las estrategias de publicidad o marketing a las estrategias empresariales (fijación de precios) o la optimización de recursos (energéticos, humanos, etc.).

En términos generales, podría resumirse la participación de las matemáticas en la actividad productiva en tres ámbitos clave:

- 1) Diseño, modelaje, simulación y prototipado de productos. Las matemáticas añaden mucha precisión a la fabricación de bienes y servicios, permitiendo la sofisticación de los mismos. El ejemplo ilustrativo más recurrente es el de la automoción, donde las matemáticas han sido un instrumento fundamental para la mejora de los vehículos.
- 2) Optimización de procesos productivos y de organización. Las matemáticas son esenciales para reducir costes de transacción internos y externos, y mejorar la eficiencia (producir al menor coste posible). Un claro ejemplo es la aplicación de la matemática a la logística industrial, para la optimización de la red de distribución (almacén, reparto, ruta, planificación de los horarios, desplazamientos, etc.).
- 3) Análisis de datos. Las matemáticas proporcionan herramientas fundamentales para que la información disponible adquiera sentido económico y sea aprovechable (por ejemplo, mediante técnicas de análisis de *big data*). En el sector aeronáutico, entre otros, la creación de prototipos de plataforma de análisis de grandes volúmenes de datos desestructurados permite mejorar la eficiencia de los vuelos (consumo de combustible, emisiones, tiempos de vuelo, retrasos, etc.).

### **3. EL PESO DE LA INVESTIGACIÓN MATEMÁTICA Y DE LA TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA MATEMÁTICA EN LA ECONOMÍA ESPAÑOLA**

La aproximación metodológica que se muestra, a continuación, para medir el peso en la economía española de la investigación y transferencia tecnológica matemática (en adelante, ITM) ha sido utilizada ampliamente en estudios de estas características, en particular, en los citados al comienzo, realizados en el Reino Unido, Holanda y Francia. Consiste en la consideración de los beneficios apropiables para los agentes que detentan el conocimiento matemático y perciben sus frutos en sus actividades correspondientes.

### 3.1. La cuantificación de las matemáticas como bien económico

En la medida en que la ITM (investigación y transferencia tecnológica matemática) forma parte del *stock* de capital humano y de capital físico, puede considerarse como un *Input* (oferta). No obstante, existen bienes o servicios cuya naturaleza es matemática (por ejemplo, una prima de seguro), por lo que también pueden considerarse como un *Output* (demanda). Por ello, la manera de aproximarse a la contribución de las matemáticas puede hacerse desde ambas lógicas, donde la clave es discernir la intensidad matemática, tanto de los *inputs* como del *output*. El análisis desarrollado en este trabajo se basa en el enfoque de ocupaciones (oferta). No obstante, también se explora el enfoque de productos (demanda), así como la posibilidad de aprovechar su complementariedad (enfoque combinado).

Un comentario sobre la terminología económica que usaremos a continuación. El Producto Interior Bruto (PIB) es el valor de mercado de los bienes y servicios finales producidos por una economía en un determinado periodo de tiempo (generalmente un año). Coincide con la suma de los valores añadidos del proceso de producción. Por ello, el PIB se identifica con la suma del Valor Añadido Bruto (VAB) y de los impuestos indirectos sobre los productos restando el valor de las subvenciones. En ocasiones se utilizará el VAB en la presentación de datos.

#### 3.1.1. Estimación cuantitativa a través del enfoque de ocupaciones con intensidad matemática

A partir de la metodología del enfoque de ocupaciones, se obtiene que en España habría entre 2,4 y 3,8 millones de personal trabajador Equivalente en Jornada Completa (en adelante, EJC) con intensidad matemática en el año 2016, según el nivel de estudios que hayan completado (véase la figura 3). Estas magnitudes representan entre un 14,1% y un 22,1%, respectivamente, del total de personas ocupadas de la economía española en ese mismo año. En ambos casos, se trata de una estimación de máximos, ya que considera que estos dedican la totalidad de su tiempo de trabajo a la realización de tareas con intensidad matemática. Sin embargo, esto puede no ser así, ya que existen ciertas tareas, también relevantes en el ejercicio de cualquier profesión, que no requieren de conocimientos matemáticos avanzados por parte de la plantilla o que para su ejecución estos últimos no se apoyan sobre herramientas con alto contenido

matemático (maquinaria). Un ejemplo de ello son las relaciones comerciales e institucionales que se celebran de forma presencial, la asistencia a reuniones de coordinación de equipos, etc. Aunque en muchas de estas tareas también se tenga en cuenta el uso del tiempo y la optimización del mismo.

Por ello, resulta conveniente atribuir una proporción de tiempo a cada una de las ocupaciones identificadas con intensidad matemática. La no disponibilidad estadística del uso del tiempo profesional en los microdatos de la Encuesta de Población Activa (EPA) que publica el Instituto Nacional de Estadística (INE) hace necesario el apoyo en personal experto conocedor de la transferencia matemática y de las tareas que desempeñan este tipo de profesionales en su día a día.

**Figura 3. Ocupados totales y EJC con intensidad matemática según nivel educativo completado (personas y % total) (2016)**

<b>Personas</b>	Alto	Alto + FPsuperior	Alto + FPsuperior + FPmedio	Alto + FPsuperior + FPmedio + ESO
<b>Total</b>				
Por nivel educ.	2.350.916	568.165	1.261	801.724
Acumulado	2.350.916	2.919.080	2.920.341	3.722.065
<b>EJC</b>				
Por nivel educ.	2.450.880	582.801	1.401	805.940
Acumulado	2.450.880	3.033.681	3.035.083	3.841.022
<b>% total</b>	Alto	Alto + FPsuperior	Alto + FPsuperior + FPmedio	Alto + FPsuperior + FPmedio + ESO
<b>Total</b>				
Por nivel educ.	13,5%	3,3%	0,0%	4,6%
Acumulado	13,5%	16,8%	16,8%	21,4%
<b>EJC</b>				
Por nivel educ.	14,1%	3,3%	0,0%	4,6%
Acumulado	14,1%	17,4%	17,4%	22,1%

*Fuente:* Afi, INE (microdatos EPA).

Siguiendo el enfoque de ocupaciones, las matemáticas serían responsables de más de 630.000 puestos de trabajo (3,6% del total de ocupados y ocupadas) y de unos 62.000 millones de euros de contribución al VAB (6,1% del total de la economía española de 2016)

Teniendo en cuenta lo anterior, los resultados revelan que las actividades intensivas en matemáticas contribuirían a la generación de cerca de 630.000 ocupadas y ocupados EJC de forma directa si se abarcara a todo el colectivo,

con independencia de su nivel formativo, lo que equivaldría al 3,6% del total del personal trabajador de la economía española (véase figura 4). Si el impacto se circunscribe a aquellas personas ocupadas que han completado un nivel educativo alto, entonces las actividades intensivas en matemáticas contribuirían a la generación de más de medio millón de empleos.

**Figura 4. Estimación de impacto directo de las actividades intensivas en matemáticas sobre el empleo en España según nivel educativo completado por el trabajador/a (personas equivalentes a jornada completa y % total ocupados) (2016)**

	Alto	Alto + FPsuperior	Alto + FPsuperior + FPmedio	Alto + FPsuperior + FPmedio + ESO
<b>Personas</b>	507.641	581.257	581.597	629.239
<b>% total</b>	2,9%	3,3%	3,3%	3,6%

*Fuente:* Afi, INE (microdatos EPA).

El conocimiento de la productividad por hora trabajada de cada uno de los 63 sectores económicos que proporciona el marco *Input-Output*, junto con la estimación del número de ocupados EJC, permite conocer el Valor Añadido Bruto (VAB) generado por las actividades con intensidad matemática. Podría incluso considerarse que el VAB estaría infraestimado si se atribuyese la productividad media del sector y no una mayor que podría presumírsele a las ocupaciones intensivas en matemáticas. El conocimiento de los salarios de estos y estas profesionales para cada sector económico podría cuantificar esta diferencia, si es que existiese. Sin embargo, la no disponibilidad estadística de la variable de salarios en los microdatos de la EPA que cuentan con el detalle de ocupaciones y sectores indicado con anterioridad (tres dígitos en ambos casos), dificulta la constatación de este hecho. Por ello, se ha procedido a asignar a cada ocupado u ocupada intensiva en matemáticas la misma productividad que la del resto de personas ocupadas del sector económico en que trabaja.

La productividad de las ramas económicas en las que está empleado este tipo de profesionales se sitúa en los 47,2 euros por hora trabajada en 2016, mientras que la media se ubica en los 31,4 euros por hora trabajada

De esta manera, se obtiene que las actividades intensivas en matemáticas contribuirían a la generación de cerca de unos 62.000 millones de euros de VAB de forma directa si se tuviese en cuenta a todo el colectivo de profesionales de

las matemáticas, lo que equivaldría al 6,1% del total del VAB de la economía española de 2016 (véase figura 5). Si solo se considerasen aquellos que han completado estudios universitarios, el impacto directo en VAB se situaría por encima de los 50.000 millones de euros (5% del total).

Nótese que el impacto en términos de VAB supera al estimado para el caso del empleo. Esto se debe al hecho de que este tipo de profesionales predominan en los sectores con la productividad laboral más alta. La productividad promedio de las ramas económicas en las que está empleado este tipo de profesionales se sitúa en los 47,2 euros por hora trabajada en 2016, mientras que la media sectorial se ubica en los 31,4 euros por hora trabajada. Por lo tanto, la contribución económica de las actividades intensivas en matemáticas es mayor que la que se deduce en términos sociales (trabajadores y trabajadoras). Un hecho que contribuye a mejorar la productividad laboral, otra de las debilidades de las que adolece el mercado de trabajo español y que permitiría mejorar la ansiada competitividad de la economía española.

**Figura 5. Estimación de impacto directo de las actividades intensivas en matemáticas sobre el VAB en España según nivel educativo completado por el trabajador/a (millones de euros y % total) (2016)**

	Alto	Alto + FPsuperior	Alto + FPsuperior + FPmedio	Alto + FPsuperior + FPmedio + ESO
<b>Mill. Eur.</b>	50.324	57.406	57.466	61.747
<b>% total</b>	5,0%	5,7%	5,7%	6,1%

*Fuente:* Afí, INE (microdatos EPA).

### *3.1.2. Estimación cuantitativa a través del enfoque combinado de ocupaciones y productos con intensidad matemática*

El enfoque de ocupaciones que hemos visto contempla la penetración de las y los profesionales matemáticos en el tejido productivo y su impacto económico en términos de valor añadido. Pero hay ocasiones en las que su peso en términos de empleo puede ser importante y no captar suficientemente todo el potencial de generación de valor. Por el contrario, el enfoque de productos que se plantea en la metodología puede incurrir en infravaloraciones en aquellas ramas de actividad económica donde las matemáticas presentan un menor peso.

El enfoque de ocupaciones y el de productos tienen, por tanto, un importante grado de complementariedad. Sin embargo, ambos procedimientos no resultan agregables directamente, ya que podría incurrirse en duplicaciones de los agregados calculados. De cara a integrar ambos métodos es preciso tener en cuenta lo siguiente:

- En las ramas de gran especialización en productos matemáticos, no se utilizará el enfoque de las ocupaciones, sino el de productos.
- En aquellas de menor especialización tecnológica, el enfoque de ocupaciones será el que se emplee para la estimación de impacto de las matemáticas.

El enfoque combinado arroja un impacto de más de un millón de ocupados (6% del empleo total) y 103.000 millones de euros de VAB (10,1% del VAB total)

El enfoque combinado de ocupaciones y productos con intensidad matemática revela que el impacto directo en empleo EJC se elevaría hasta el millón de las personas ocupadas, con independencia del nivel de estudios completado por los trabajadores y trabajadoras. Este volumen representaría alrededor del 6 % del empleo total de la economía española en 2016 (véase la figura 6).

**Figura 6. Estimación de impacto directo de las actividades intensivas en matemáticas sobre el empleo en España según nivel educativo completado por el trabajador/a (personas equivalentes a jornada completa y % total ocupados) (2016)**

	Alto	Alto + FPsuperior	Alto + FPsuperior + FPmedio	Alto + FPsuperior + FPmedio + ESO
<b>Personas</b>	977.425	1.015.549	1.015.552	1.044.965
<b>% total</b>	5,6%	5,8%	5,8%	6,0%

*Fuente:* Afi, INE (microdatos EPA).

En lo que respecta al impacto directo en VAB, la estimación apunta a un volumen de unos 103.000 millones de euros, si se abarca a todo el colectivo de profesionales de las matemáticas, que representaría el 10,1% del VAB de España en 2016 (véase la figura 7). Si solo se atendiese a las personas que han completado un nivel educativo alto, entonces el impacto directo se situaría por encima de los 98.000 millones de euros (9,7% del VAB total).

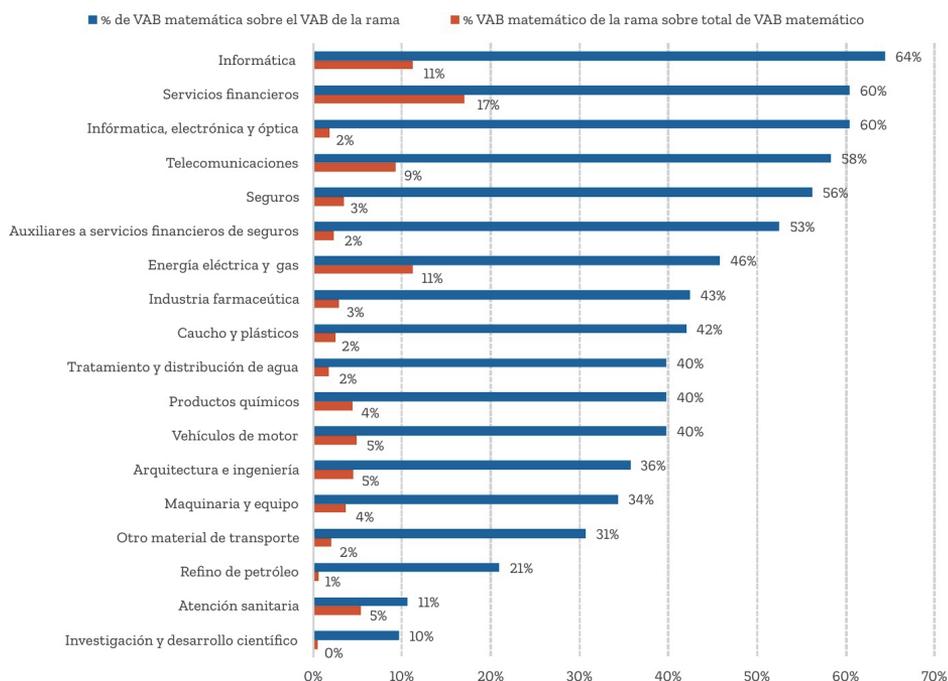
**Figura 7. Estimación de impacto directo de las actividades intensivas en matemáticas sobre el VAB en España según nivel educativo completado por el trabajador/a (millones de euros y % total VAB) (2016)**

	Alto	Alto + FPsuperior	Alto + FPsuperior + FPmedio	Alto + FPsuperior + FPmedio + ESO
<b>Mill. Eur.</b>	98.043	100.886	100.886	102.812
<b>% total</b>	9,7%	9,9%	9,9%	10,1%

Fuente: Afi, INE (microdatos EPA).

El análisis por rama de actividad revela que es la informática, seguida de las actividades financieras, los servicios de telecomunicaciones y la rama de energía eléctrica y gas las que mayor impacto directo tienen a consecuencia de la investigación y uso de las herramientas matemáticas. Su VAB no solo está generado en una importante proporción por las matemáticas, sino que explican también el grueso del impacto de las mismas sobre la economía española (véase la figura 8).

**Figura 8. Ramas de actividad económica ordenadas de mayor a menor impacto directo de las matemáticas (2016)**



Por último, a partir de los tipos efectivos medios de las principales figuras impositivas (el Impuesto sobre la Renta de las Personas Físicas, el Impuesto sobre el Valor Añadido y el Impuesto de Sociedades) y de la cotización media a la Seguridad Social, se puede estimar también la recaudación que realiza el Estado a través de las actividades intensivas en matemáticas. Según esta metodología y las estimaciones de impacto directo en VAB y empleo que se desprenden del enfoque combinado, las actividades intensivas en matemáticas contribuirían a la recaudación de unos 107.000 millones de euros de impuestos y contribuciones a la Seguridad Social, lo que equivaldría al 25,8% del total recaudado por las AA.PP. en el año 2016, si se atiende al colectivo de profesionales en su conjunto (véase la figura 9). Si se circunscribe a los y las profesionales que han completado un nivel educativo alto, entonces la recaudación fiscal se situaría en los 102.000 millones de euros (24,7% del total).

Las actividades intensivas en matemáticas contribuirían a la recaudación de unos 107.000 millones de euros de impuestos y contribuciones a la Seguridad Social, lo que equivaldría al 25,8% del total recaudado por las AA.PP. en el año 2016

**Figura 9. Estimación de impacto directo de las actividades intensivas en matemáticas sobre la recaudación fiscal en España según nivel educativo completado por el trabajador/a (millones de euros, % total) (2016)**

	Alto	Alto + FPsuperior	Alto + FPsuperior + FPmedio	Alto + FPsuperior + FPmedio + ESO
<b>Mill. Eur.</b>	102.269	105.246	105.246	107.076
<b>% total</b>	24,7%	25,4%	25,4%	25,8%

Fuente: Afi, INE.

### 3.1.3. Impacto indirecto e inducido: efectos de arrastre sobre otros sectores económicos

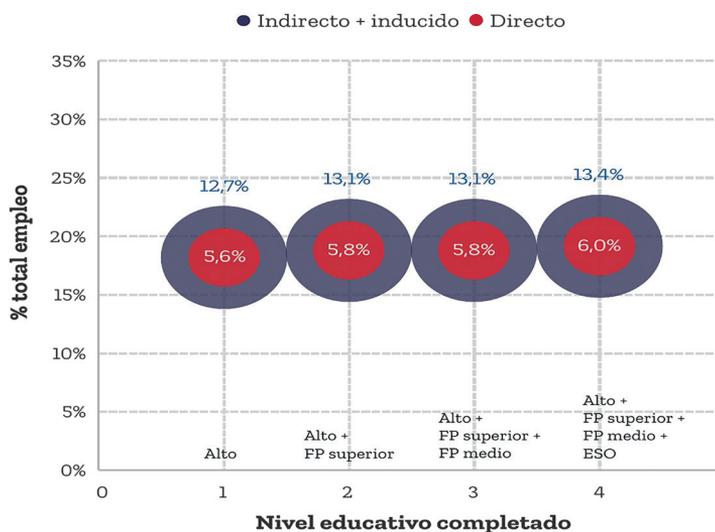
Las actividades intensivas en matemáticas ejercen otro tipo de impactos que van más allá de los generados directamente sobre los y las profesionales, los sectores económicos en los que trabajan y las tecnologías que emplean para desarrollar su trabajo. Este otro tipo de impactos son:

- **Los efectos indirectos**, que se derivan de la propia pertenencia de un sector a una cadena de valor (la relación con proveedores de bienes y servicios, por ejemplo).
- **Los efectos inducidos**, aquellos otros que se generan por el uso de las rentas derivadas de las actividades intensivas en matemáticas (gasto e inversión de las rentas del trabajo que realizan en bienes y servicios los profesionales con intensidad matemática).

Al incluir los efectos indirectos e inducidos, las actividades intensivas en matemáticas explican alrededor del 19% del total del empleo y el 27% del VAB español en el año 2016

Para estimar el impacto indirecto e inducido se emplean los multiplicadores que se desprenden de la Tabla *Input-Output* de 2010 de la economía española que proporciona el INE. Si se contemplasen estos **efectos de arrastre** en la estimación de impacto directo que se deduce del enfoque combinado de ocupaciones y productos, las actividades intensivas en matemáticas contribuirían a la generación de más de tres millones de personas ocupadas, con independencia del nivel educativo completado por estos y estas profesionales (véase la figura 10).

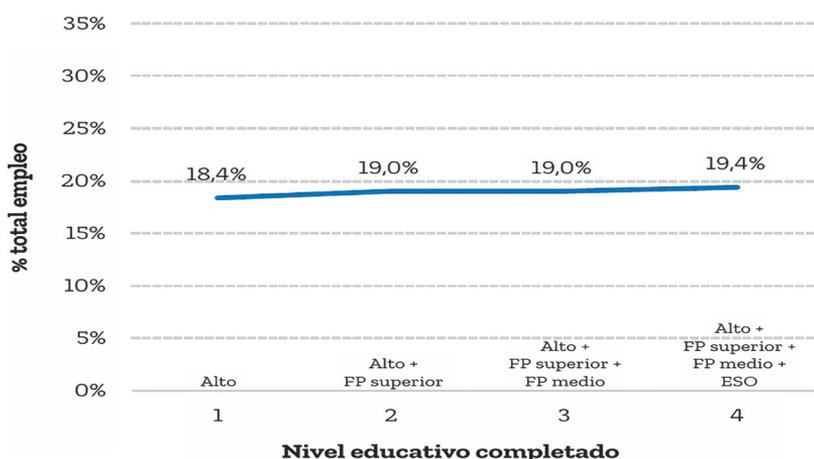
Figura 10. Estimación de impacto directo, indirecto e inducido de las actividades intensivas en matemáticas sobre el empleo en España (% total ocupados/as) según nivel educativo completado (2016)



Fuente: Afi, INE (microdatos EPA, TIO).

En términos relativos, las actividades intensivas en matemáticas estarían explicando alrededor del 19% del total del empleo de la economía española en el año 2016 (véase la figura 11). La parte atribuible al impacto indirecto e inducido, por tanto, arrojaría unos 2,3 millones de personas ocupadas EJC más, distribuidas por todas las actividades económicas, que representarían un 13,4% del total de ocupados y ocupadas de 2016.

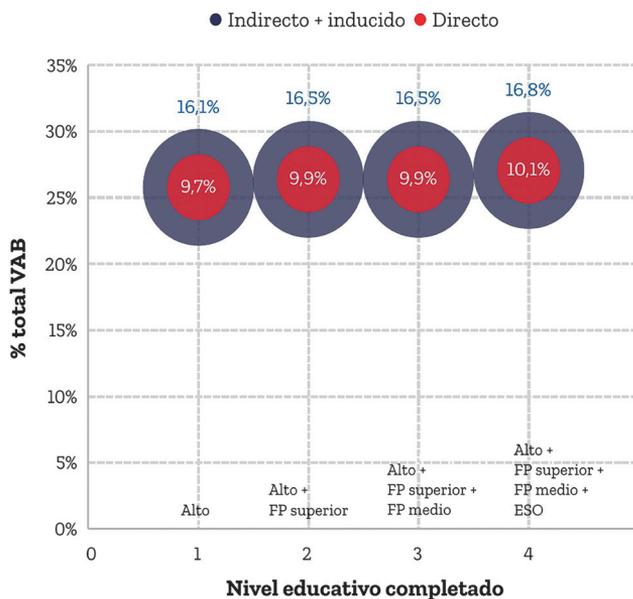
**Figura 11. Estimación de impacto total de las actividades intensivas en matemáticas sobre el empleo en España (% total ocupados) según nivel educativo completado (2016)**



*Fuente:* Afi, INE (microdatos EPA, TIO).

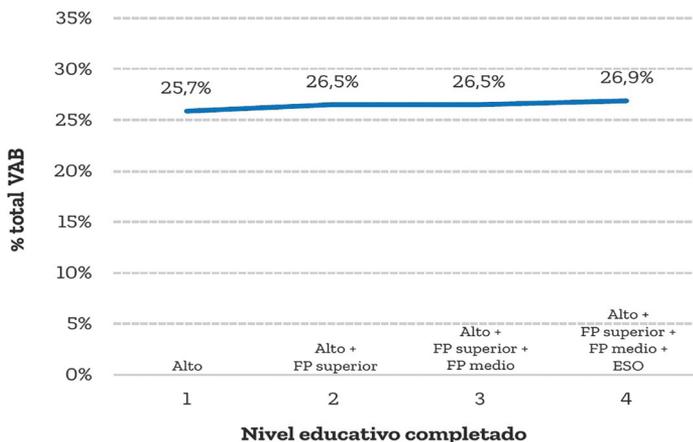
En cuanto al VAB, si se añadiesen los impactos indirectos e inducidos de las actividades intensivas en matemáticas, el impacto global ascendería hasta los 273.000 millones de euros, lo que representaría el 26,9% del total del VAB generado por la economía española en 2016 (véase las figuras 12 y 13). En este caso, el impacto indirecto e inducido generaría unos 170.000 millones de euros en otras actividades económicas, que vendrían a representar el 16,8% del VAB total de la economía española en 2016. La magnitud de estos impactos pone de manifiesto el importante efecto de arrastre que ejercen las actividades intensivas en matemáticas sobre el tejido productivo de nuestro país.

Figura 12. Estimación de impacto directo, indirecto e inducido de las actividades intensivas en matemáticas sobre el VAB en España (% total) según nivel educativo completado (2016)



Fuente: Afi, INE (microdatos EPA, TIO).

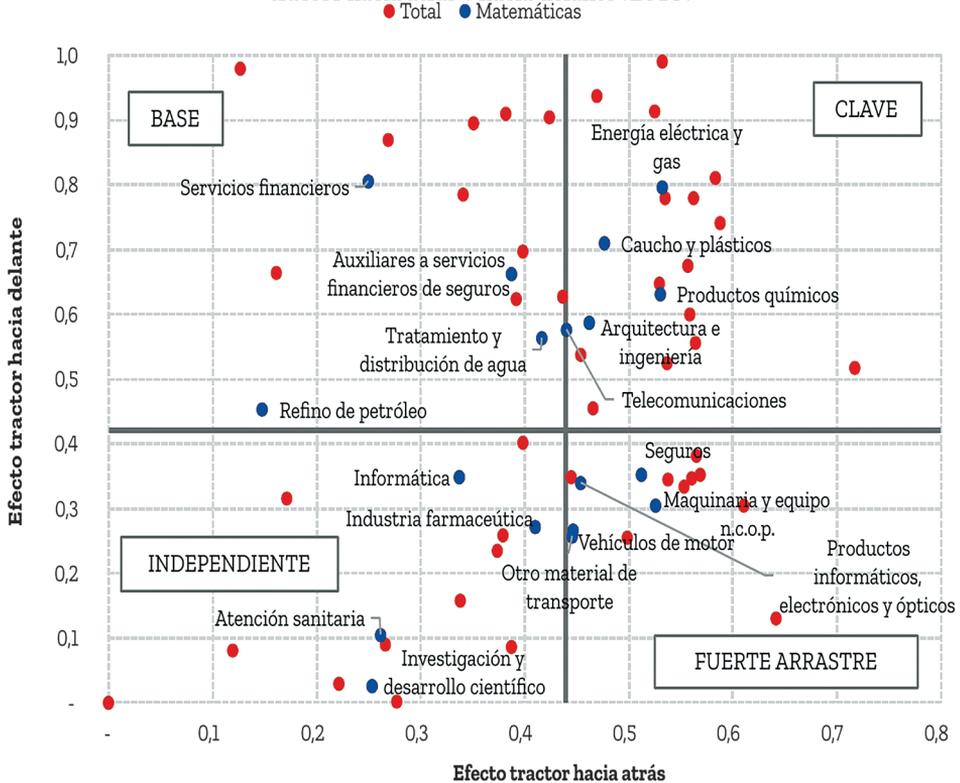
Figura 13. Estimación de impacto total de las actividades intensivas en matemáticas sobre el VAB en España (% total) según nivel educativo completado (2016)



Fuente: Afi, INE (microdatos EPA, TIO).

Si se atiende a la descomposición de dicho efecto de arrastre hacia delante y hacia atrás, las ramas de actividad económica que están relacionadas con las actividades intensivas en matemáticas se pueden clasificar según la tipología de estos “efectos tractores” o eslabonamientos (del inglés, *linkages*). Las ramas más intensivas en matemáticas constituyen sectores clave, tanto por su capacidad de arrastre como de soporte al resto de actividades del tejido productivo. En el cuadrante II (superior derecho) de la figura 14 se concentran las actividades con fuertes eslabonamientos hacia delante y hacia atrás, los considerados como sectores “Clave”. Se denominan así ya que ejercen tanto una labor de arrastre sobre otras actividades, como de soporte para el crecimiento de otros sectores, por lo que revisten un carácter estratégico. En este cuadrante se encuentran la rama de energía eléctrica y gas, la rama industrial de elaboración de caucho y plásticos, la industria química, los servicios de arquitectura e ingeniería y los de telecomunicaciones. Todas estas ramas coinciden, además, con las actividades que presentan un mayor impacto global de intensidad matemática. Sin embargo, el resto de las áreas de actividad económica con mayor impacto de las matemáticas que la media sectorial, como son los servicios financieros, la informática o las actividades de I+D+i, se distribuyen a lo largo de los cuatro cuadrantes, evidenciando la transversalidad de las mismas.

Figura 14. Clasificación de las ramas productivas de intensidad matemática según su efecto tractor hacia atrás y hacia delante (2016)



Fuente: Afi, INE (microdatos EPA, TIO).

### 3.2. El peso económico de las matemáticas en España en perspectiva comparada

Una manera de evaluar la relevancia de las matemáticas sobre la economía española es compararla con la que representan en otras economías europeas desarrolladas. De este análisis se desprende que el recorrido avanzado por las actividades intensivas en matemáticas en España ha sido mucho y muy loable –a juzgar por la visión trasladada por buena parte de los expertos consultados–, pero que queda amplio camino por recorrer, pues el impacto de las actividades intensivas en matemáticas estimado con anterioridad es menor que el obtenido en otros países europeos donde se ha realizado un estudio similar.

La relevancia de las ocupaciones intensivas en matemáticas es menor en España que en Reino Unido, Francia y Holanda

En términos de empleo directo, la estimación de impacto en España se sitúa en el 6% del empleo total, según el enfoque combinado, mientras que en Reino Unido, Francia y Holanda oscilan entre el 10% y el 11% del total (véase la figura 15).

Lo mismo ocurre en términos de VAB, ya que la estimación de España se eleva hasta el 10,1% del total, mientras que en otros países europeos el impacto directo se sitúa entre el 13% y el 16% del VAB total (véase la figura 16).

Figura 15. Estimación de impacto de las actividades intensivas en matemáticas sobre el empleo en Reino Unido, Francia, Holanda y España (millones de personas equivalentes a jornada completa y % total ocupados)

<b>Empleo (mill.)</b>	<b>Directo</b>	<b>Indirecto</b>	<b>Inducido</b>	<b>Total</b>
Reino Unido	2,8	2,9	4,1	<b>9,8</b>
Francia	2,4	n.d.	n.d.	n.d.
Holanda	0,9	0,5	0,8	<b>2,3</b>
España	1,0	2,3		<b>3,3</b>

<b>Empleo (% total)</b>	<b>Directo</b>	<b>Indirecto</b>	<b>Inducido</b>	<b>Total</b>
Reino Unido	9,8%	10,2%	14,4%	<b>34,4%</b>
Francia	9,0%	n.d.	n.d.	n.d.
Holanda	10,7%	6,2%	9,1%	<b>26,0%</b>
España	6,0%	13,4%		<b>19,4%</b>

Fuente: Afi, INE (microdatos EPA).

Figura 16. Estimación de impacto de las actividades intensivas en matemáticas sobre el VAB en Reino Unido, Francia, Holanda y España (miles de millones de euros, % total)

<b>VAB (mil mill.)</b>	<b>Directo</b>	<b>Indirecto</b>	<b>Inducido</b>	<b>Total</b>
Reino Unido	208	155	192	<b>555</b>
Francia	285	n.d.	n.d.	n.d.
Holanda	71	37	51	<b>159</b>
España	103	170		<b>273</b>

<b>VAB (% total)</b>	<b>Directo</b>	<b>Indirecto</b>	<b>Inducido</b>	<b>Total</b>
Reino Unido	16,0%	12,0%	15,0%	<b>43,0%</b>
Francia	15,0%	n.d.	n.d.	n.d.
Holanda	13,2%	6,9%	9,5%	<b>29,6%</b>
España	10,1%	16,8%		<b>26,9%</b>

Fuente: Afi, Deloitte, CMI.

Si se replicase el ejercicio realizado en estos otros países europeos, basando la estimación en el enfoque de ocupaciones (y no en el combinado) y asignando la proporción media de horas asignada a cada ocupación (en lugar de la trasladada por los expertos consultados), se obtendría que el impacto directo en empleo y VAB (6,4% y 10,7% sobre el total, respectivamente) sería igualmente inferior al observado en Reino Unido, Francia y Holanda (véase la figura 17).

**Figura 17. Estimación de impacto directo de las actividades intensivas en matemáticas en España asignando la misma proporción de tiempo que la de los estudios de Reino Unido, Francia y Holanda**

**Figura 17.1. Sobre empleo (ocupados/as equivalentes a jornada completa, % total), 2016**

	Alto	Alto + FPsuperior	Alto + FPsuperior + FPmedio	Alto + FPsuperior + FPmedio + ESO
<b>Personas</b>	850.635	1.037.990	1.039.170	1.119.966
<b>% total</b>	4,9%	6,0%	6,0%	6,4%

**Figura 17.2. Sobre VAB (miles de millones de euros de VAB, % total), 2016**

	Alto	Alto + FPsuperior	Alto + FPsuperior + FPmedio	Alto + FPsuperior + FPmedio + ESO
<b>Mill. Eur.</b>	82.142	100.642	100.895	108.859
<b>% total</b>	8,1%	9,9%	9,9%	10,7%

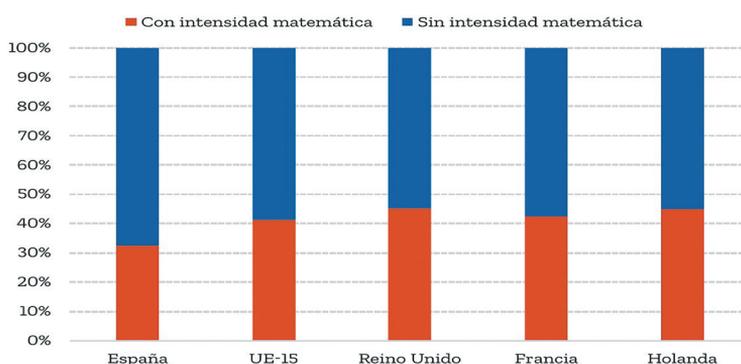
*Fuente:* Afi, INE (microdatos EPA), Deloitte, CMI.

El hecho de que este impacto sea menor en España que el cuantificado por los estudios consultados en otros países europeos no sorprende en absoluto y responde a la diferente composición de la estructura productiva de la economía española (menor número y proporción de ocupados y ocupadas con intensidad matemática que en estos otros países), así como al grado de competitividad de la misma (menor productividad laboral en términos relativos).

España destaca por estar muy rezagada en profesiones de intensidad matemática como especialistas en bases de datos y redes informáticas, finanzas, profesionales de las tecnologías de la información o diseñadores de software y multimedia

Según Eurostat, la relevancia de las ocupaciones intensivas en matemáticas es menor en España que en Reino Unido, Francia y Holanda. Si se agregan las ocupaciones según sean o no intensivas en matemáticas, se obtiene que en España representan alrededor del 30% del total (véase la figura 18), mientras que en la Unión Europea-15 este mismo porcentaje se eleva hasta el 40%, siendo más alto, incluso, en el caso de Reino Unido, que es el país con el mayor impacto estimado de entre todos los analizados.

**Figura 18. Distribución de ocupados según ocupaciones de intensidad matemática en España, UE-15, Reino Unido, Francia y Holanda (% total ocupados) (2015)**



*Fuente:* Afi, Cedefop.

Dentro de estas ocupaciones intensivas en matemáticas, España destaca por estar muy rezagada respecto a Reino Unido, Francia y Holanda, en las siguientes profesiones:

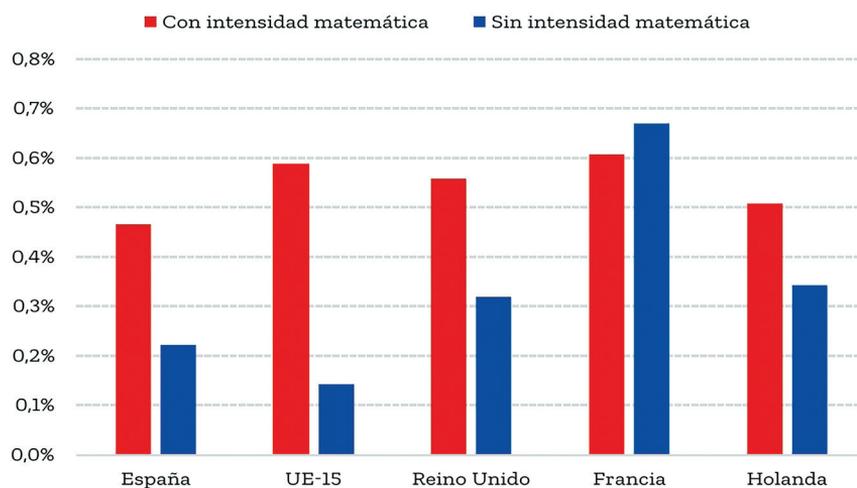
- Especialistas en organización de la Administración pública y de las empresas y en la comercialización, que incluyen ocupaciones como los especialistas en finanzas (código 261 de la CNO-11), especialistas en organización y administración (código 262) y profesionales de ventas técnicas y médicas, excepto las TIC (código 264). Un aspecto que no sorprende, ya que las plazas europeas financieras, así como los centros de poder económico, se distribuyen entre la City de Londres y las ciudades ubicadas en el centro del continente europeo (París, Luxemburgo, Bruselas, etc.).

- Profesionales de las tecnologías de la información, que contempla profesiones, como las de los analistas y diseñadores de software y multimedia (código 271) y especialistas en bases de datos y en redes informáticas (código 272). Aun cuando el personal técnico TIC (programadores informáticos, técnicos audiovisuales y en telecomunicaciones, etc.) tiene un peso relativo mayor en España que en estos otros países europeos, lo cierto es que los ingenieros e ingenieras TIC tienen una menor presencia en el tejido productivo español.

El crecimiento previsto para las ocupaciones intensivas en matemáticas en la próxima década es inferior para España que para los países europeos de referencia

Pero es que, además, según el Centro Europeo para el Desarrollo de la Formación Profesional (Cedefop, organismo de la Comisión Europea dedicado a asunto de educación y formación profesional) las previsiones de crecimiento de las ocupaciones intensivas en matemáticas para la década que comprende entre el año 2015 y el año 2025 son menores para España (se estima que crecerán a un ritmo medio anual del 0,47%) que para estos otros países europeos (0,59% en media anual para el caso de la UE-15, por ejemplo), lo que ampliaría la diferencia existente ya en la actualidad (véase la figura 19). Y eso, a pesar de que las perspectivas de crecimiento del empleo para la próxima década de estas profesiones son mucho más favorables que las del resto de ocupaciones. En concreto, su ritmo de crecimiento (0,47% indicado con anterioridad) más que duplica al del resto de ocupaciones (que lo haría al 0,22% en media anual) para el periodo 2015/2025.

**Figura 19. Crecimiento de las personas ocupadas según trabajos de intensidad económica en España, UE-15, Reino Unido, Francia y Holanda (crecimiento medio anual). Previsiones Cedefop 2015/2025**



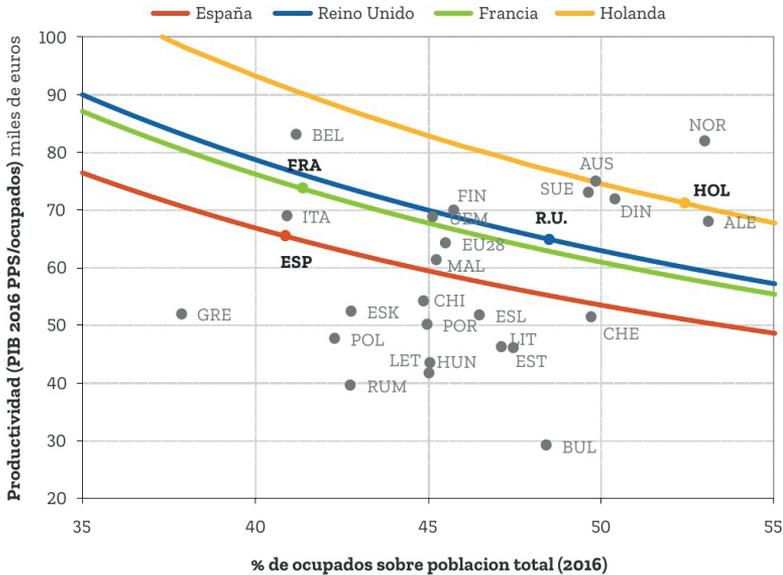
*Fuente:* Afi, Cedefop.

La diferencia de impacto de las actividades intensivas en matemáticas se explica más bien por la diferente composición de su estructura productiva que por una menor productividad laboral

La productividad que genera cada ocupado en España es sustancialmente inferior a la que presentan Reino Unido, Francia y Holanda. De hecho, en ocasiones se alude a la infrautilización de recursos humanos (menor tasa de empleo) y a la menor productividad laboral (PIB por persona empleada) como dos de los elementos que limitan el crecimiento del PIB per cápita, pues la renta per cápita se puede obtener multiplicando la productividad del trabajo por el porcentaje de población empleada (véase la figura 20). Sin embargo, el escalón existente entre el impacto en empleo y PIB de unos países a otros es prácticamente el mismo, lo que evidencia, de alguna u otra forma, que las y los profesionales matemáticos en España cuentan con una productividad relativa a su media nacional muy semejante a la observada en estos otros países europeos. Por tanto, la diferencia de impacto de las actividades intensivas en matemáticas entre España y Reino Unido, Francia y Holanda se explica más bien por la diferente composición de su estructura productiva, que por una menor productividad laboral.

Las y los profesionales matemáticos en España cuentan con una productividad relativa a su media nacional muy semejante a la observada en estos otros países europeos

**Figura 20. Descomposición del PIB per cápita de los principales países europeos (miles de euros y % total población, curvas de Iso-Renta por habitante\*) (2016)**



Fuente: Afi, INE, Eurostat.

#### 4. LAS MATEMÁTICAS COMO VECTOR ESTRATÉGICO DE CRECIMIENTO Y PROGRESO ECONÓMICO

El conocimiento matemático constituye una de las bases para poder alcanzar mejoras para la combinación de los factores productivos y aumentar, por ende, la capacidad productiva de la economía. En otras palabras, es una herramienta esencial para el impulso de la productividad del trabajo, que es el determinante fundamental del crecimiento económico en el largo plazo del PIB per cápita cuando todos los factores productivos están dispuestos a la producción de bienes y servicios. Afirma Paul Krugman que si bien la productividad del trabajo es importante a corto plazo, “en el largo plazo es casi todo”. Además, al ser un bien no rival, los beneficios económicos del empleo del conocimiento matemático pueden llegar a ser proporcionales a la población, impulsando así procesos de

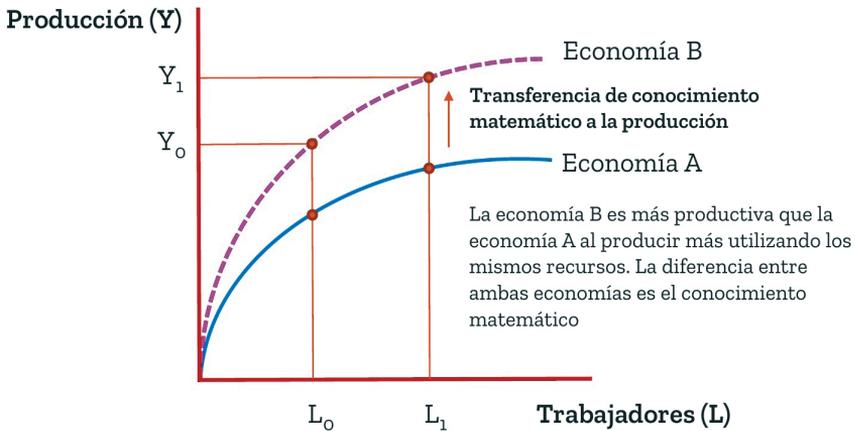
crecimiento muy acelerado, como el que viene observándose en China en las últimas tres décadas.

Las matemáticas se encuentran en la base del aumento de la productividad del trabajo, que es el determinante fundamental del crecimiento económico a largo plazo

Para ilustrar la relación entre las matemáticas y el crecimiento económico, podemos recurrir a una representación sencilla que relaciona la cantidad de personal trabajador de una economía y la producción total de bienes y servicios, donde puede observarse, intuitivamente, por qué el *stock* de conocimiento matemático y su transferencia a las actividades productivas es un determinante fundamental de la capacidad de crecimiento a largo plazo.

En la figura 21 se comparan dos economías imaginarias idénticas (ambas disponen del mismo número de trabajadores y trabajadoras totales), salvo en el conocimiento matemático que atesoran (la economía B incorpora más matemáticas al proceso productivo que la economía A). El personal trabajador de la economía B es capaz de producir una mayor cantidad de bienes y servicios en la misma cantidad de tiempo que el de la economía A, simplemente porque sus “técnicas de producción” son más sofisticadas. Por llevarlo a un ejemplo concreto para facilitar su comprensión, podría suponerse que en la economía B los empleados y empleadas conocen y saben usar algoritmos, mientras que los de la economía A, no. Los algoritmos, en definitiva, permitirían resolver problemas de asignación de manera muy eficiente al personal trabajador de la economía B, ahorrando horas de trabajo necesarias para alcanzar el mismo nivel de producción al mismo y elevando el producto per cápita de la población.

Figura 21. Diferencia de capacidad productiva entre dos economías debido al conocimiento matemático

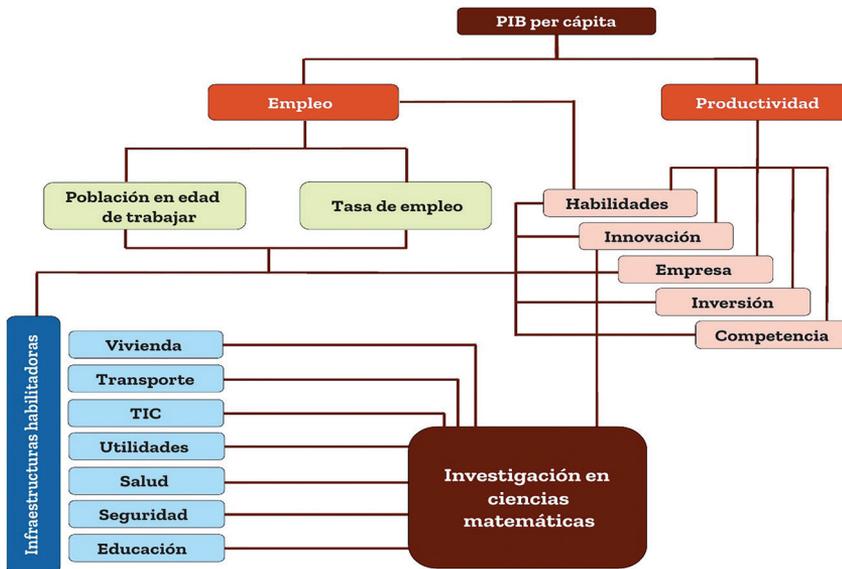


Los canales de transmisión de la investigación matemática a la productividad son diversos. Por un lado, inciden decisivamente en una serie de infraestructuras habilitadoras. Desde la construcción de viviendas e infraestructuras físicas, a bienes básicos como la educación o la sanidad, las *utilities* (suministro de agua, energía, etc.), la seguridad, el transporte o las propias tecnologías de la información y las comunicaciones. Dichas infraestructuras son imprescindibles para aumentar la población, su esperanza de vida y la empleabilidad. Por otro lado, son esenciales para el desarrollo de habilidades técnicas. Como se señalaba al principio del informe, el aprovechamiento de las matemáticas requiere también una inversión. Se estima que la mejora de la educación matemática desde edades tempranas genera una rentabilidad en términos de mejores ocupaciones y mayores salarios en el futuro que oscila entre el 7% y el 10%.

Asimismo, las matemáticas resultan fundamentales para la generación de ecosistemas empresariales, el fomento de la inversión y la competitividad y, sobre todo, el impulso de la innovación, de cuyo desempeño depende crucialmente el avance de la productividad. Muchas de las aplicaciones matemáticas están cada vez más incorporadas en bienes de capital. En los últimos años se ha observado una fuerte reducción del precio de dichos bienes (sobre todo los relacionados con la información y la comunicación), que facilita su utilización masiva incluso por la parte de la población que no tiene conocimientos matemáticos avanzados. Este último fenómeno podría estar permitiendo una difusión más rápida de la tecnología y, en definitiva, un crecimiento mayor en las economías en desarrollo.

Las ciencias matemáticas constituyen, así, un conocimiento estratégico para que la economía española y su tejido empresarial pueda aprovechar las oportunidades derivadas de la revolución tecnológica asociada a la robotización y la Inteligencia Artificial (en adelante, IA). Es hoy un pilar indispensable de la formación de capital humano, de la innovación y del liderazgo en materia de transformación digital.

Figura 22. Relación de largo plazo entre la investigación matemática y el bienestar



Fuente: Afi.

La inteligencia artificial, intensiva en conocimiento matemático, permitirá alcanzar un nuevo estadio en la automatización de tareas que aliviará el efecto negativo del envejecimiento de la población sobre la tasa de crecimiento a largo plazo

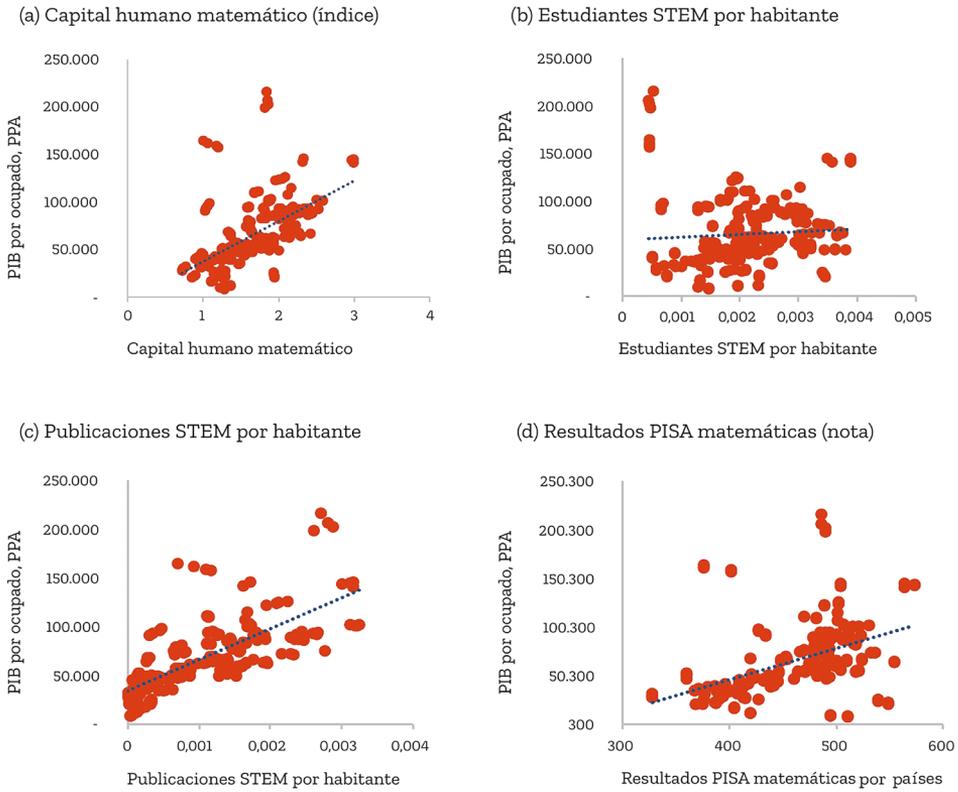
La IA permitirá alcanzar un nuevo estadio en la automatización de tareas que ha caracterizado las distintas fases de progreso tecnológico desde el advenimiento de la revolución industrial. Si se logra que las máquinas repliquen algunas formas de inteligencia humana, se podrán automatizar no solo tareas rutinarias, sino tareas que ahora requieren mayor cualificación, impulsando el crecimiento de la productividad y de los niveles de vida. Esta transformación

se puede aplicar también a la propia función de producción de conocimiento, reduciendo el coste de la investigación. La combinación de ambos efectos podría cambiar la trayectoria reciente del crecimiento a largo plazo y compensar, en gran parte, el efecto negativo que en muchos países desarrollados (entre ellos, España) puede tener el envejecimiento de la población sobre la tasa de crecimiento a largo plazo. En esta línea, el gobierno alemán ha puesto en marcha un plan de inversión para el desarrollo de la IA de 3.000 millones de euros, en aras precisamente de responder a los retos económicos, sociales y demográficos. Dicho plan de inversión contempla la creación de 100 cátedras universitarias y la consolidación de una red de 12 centros de investigación, centrados en el desarrollo y aplicación de tecnologías de IA.

#### **4.1. Efectos dinámicos de las matemáticas en la economía española**

En este apartado se presenta una estimación cuantitativa del impacto del capital humano matemático sobre la productividad del trabajo en España en términos dinámicos. La mera observación de relación positiva de algunos indicadores relevantes asociados a la investigación matemática (resultados de evaluación en matemáticas, número de publicaciones citadas en ramas STEM y proporción de graduados en estas disciplinas sobre el total de la población) con la productividad del trabajo por países, ya hace sospechar de su importancia para el desempeño de la misma. Recordamos que STEM es el acrónimo en inglés de *Science, Technology, Engineering* y *Mathematics*; en este trabajo se han considerado las publicaciones de las ramas de matemáticas, ingeniería, informática, física, astronomía, bioquímica y energía.

**Figura 23. PIB por ocupado (dólares, PPA) e indicadores asociados a la investigación matemática por países (2013/2016)**



*Fuente:* Afi, OCDE, SCIMAGO, BANCO MUNDIAL, UNESCO.

La figura 24 muestra los resultados de varias regresiones lineales (en concreto cuatro, una por cada columna) a través de una estimación por mínimos cuadrados ordinarios (MCO). Se pretende ver qué papel juegan las matemáticas en el PIB por persona ocupada (productividad laboral) de cada país. Las variables económicas empleadas, como el PIB o el *stock* de capital por persona ocupada, están disponibles en la base estadística de Banco Mundial, lo que garantiza homogeneidad en el cálculo de estas macromagnitudes y comparabilidad entre países. Sin embargo, las variables que reflejan el nivel matemático de un país son menos evidentes. En este caso, se han seleccionado las siguientes:

- Alumnado en ramas STEM por habitante.
- Publicaciones académicas en ramas STEM por habitante.

- Resultados en el examen PISA en el apartado de matemáticas.

Mediante una metodología de análisis de datos de panel para un total de 66 países en el periodo 2013/2016, se estiman importantes efectos positivos de estos tres indicadores en la productividad de los trabajadores y trabajadoras cuando se tienen en cuenta otros factores, como el nivel de capital físico por persona trabajadora (véase la figura 24).

Figura 24. Relación entre el índice de capital humano y sus componentes con el PIB por ocupado u ocupada. Estimación MCO (2013/2016)

	PIB por ocupado(en logaritmo-logs)			
Capital humano matemático (logs)	0.323*** (0,071)			
Estudiantes STEM (logs)		0.073** (0,037)		
Publicaciones STEM (logs)			0.070*** (0,016)	
Resultados PISA matemáticas (logs)				0.565*** (0,205)
Stock de capital por ocupado (logs)	0.717*** (0,025)	0.762*** (0,023)	0.672*** (0,029)	0.723*** (0,029)
Europa Mediterráneos	-	-	-	-
Europa Centro	0.131** (0,053)	0.181*** (0,052)	0.168*** (0,049)	0.147*** (0,052)
Europa Escandinavia	0.078 (0,052)	0.144*** (0,046)	0.121** (0,047)	0.132*** (0,046)
Europa Este	0.108* (0,051)	0.115** (0,054)	0.110** (0,055)	0.106* (0,055)
Anglosajones	0.200*** (0,052)	0.241*** (0,049)	0.246*** (0,048)	0.244*** (0,048)
América Latina	0.254*** (0,060)	0.189*** (0,059)	0.243*** (0,065)	0.216*** (0,060)
Oriente Medio	0.320*** (0,066)	0.275*** (0,065)	0.291** (0,066)	0.321*** (0,065)
Asia Oriental	-0.002 (0,058)	0.015 (0,061)	0.041 (0,061)	-0.025 (0,066)
Control de año (dummy)	Sí	Sí	Sí	Sí
Países	66	66	66	66
Observaciones	264	264	264	264
R <sup>2</sup>	0,897	0,890	0,894	0,892

Nota: los coeficientes están expresados en logaritmos. Las desviaciones típicas robustas aparecen entre paréntesis. \*, \*\* y \*\*\* indican significatividad estadística al 10%, 5% y 1%, respectivamente.

Fuente: Afí, OCDE, SCIMAGO, BANCO MUNDIAL, UNESCO.

Si bien las estimaciones realizadas con los tres indicadores ofrecen lecturas similares, quizá la variable que mejor aproxima el nivel de capital humano matemático es la proporción de población con formación STEM (estudiantes STEM), puesto que se relaciona con el *stock* de conocimiento matemático de la población, en mayor medida que la calidad de la educación primaria o los resultados de la investigación académica.

Si España incrementase la proporción de personas graduadas STEM sobre el total de la población al mismo nivel que en Francia, la productividad del trabajo podría aumentar en un 2,2% sobre los valores actuales

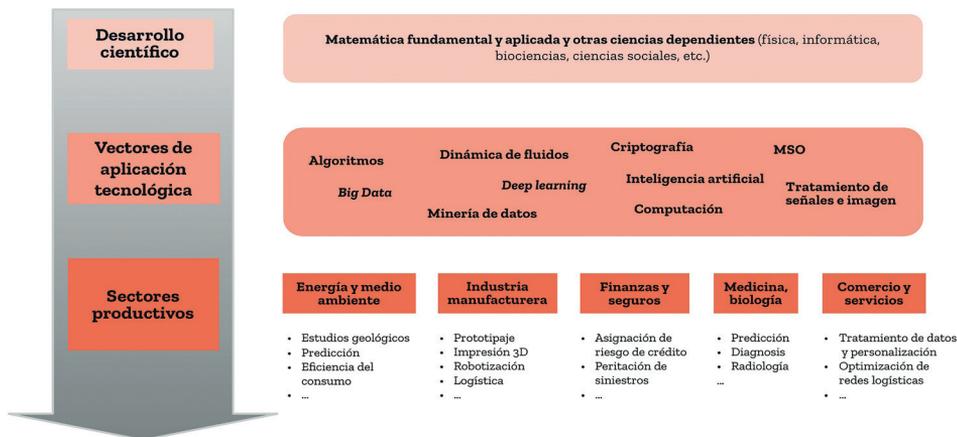
Así, un sencillo ejercicio de convergencia, en el que España alcanzara el mismo *stock* de capital humano matemático que Francia, refleja los notables incrementos de productividad del trabajo que podrían derivarse. En particular, si España incrementase la proporción de personas graduadas STEM sobre el total de la población al mismo nivel que en Francia, la productividad del trabajo podría aumentar en un 2,2% sobre los valores actuales.

#### **4.2. Transferencia de tecnología matemática al tejido productivo y externalidades positivas asociadas. Algunos ejemplos en España**

Una de las peculiaridades de la transferencia de tecnología matemática a las actividades productivas es que su aportación, a pesar de ser determinante, pasa desapercibida, puesto que muchas veces subyace a lo realmente observable. Actualmente en el mundo desarrollado, las sociedades viven en una realidad supertecnológica, donde cualquier herramienta cotidiana funciona utilizando algoritmos u otras aplicaciones matemáticas. Por aportar algún ejemplo, una señal GPS, utilizada a menudo para encontrar un destino desconocido a través de un dispositivo móvil, es un cálculo trigonométrico a partir de información de satélites que sitúa a personas y objetos en su ubicación geográfica exacta. Asimismo, las comunicaciones a través de mensajes de móvil son señales digitales reconvertidas a números, pero cuya realidad no es percibida por el o la usuaria como tal.

El proceso de transferencia tecnológica parte de la imbricación entre el conocimiento matemático más abstracto incorporado en sus vectores de aplicación a los problemas específicos de cada sector productivo (véase la figura 25). Este proceso de transferencia parte de la idea de que cualquier fenómeno o proceso a estudiar puede ser representado adecuadamente con la ayuda de las matemáticas.

Figura 25. Transferencia de la ciencia matemática y aplicación a sectores productivos



Fuente: Afi.

Una vez desarrollado un modelo, la tarea del matemático es comprender sus implicaciones y establecer juicios críticos sobre su adaptación. Para ello, suele recurrir, cada vez más, al uso de herramientas de computación y su combinación con matemática estadística, que sirven para validar dichos modelos a través del uso de datos reales o simulaciones en escenarios concretos del fenómeno investigado. En algunos casos, estos modelos precisan ser mejorados a la luz de la validación y el proceso puede iterar entre la comparación con la observación y el desarrollo de modelos posteriores, cuyo objetivo último es que consiga capacidad predictiva ante el fenómeno de interés.

En España, la tecnología matemática es un fenómeno creciente gracias a la generación de grupos multidisciplinares y la incorporación de perfiles matemáticos a problemáticas muy diversas

En España, la transferencia de tecnología matemática es un fenómeno creciente, acelerado en la última década a una diversidad de sectores, gracias a la generación de grupos multidisciplinares y la incorporación de perfiles matemáticos a problemáticas muy diversas. Sin embargo, todavía queda un largo camino por recorrer para alcanzar el nivel óptimo de vinculación de las matemáticas al mundo económico. El panel de personas consultadas es coincidente en señalar dos aspectos de diagnóstico de las trabas o retos que debe afrontar España para impulsar la transferencia matemática:

- La necesidad de mejorar el engarce entre el modelo de formación en matemáticas y las necesidades del tejido productivo. Los planes de estudio, desde la educación básica a la universitaria, no están lo suficientemente adaptados a lo que el entorno demanda, tanto en centros tecnológicos como en las propias empresas privadas. Si bien la educación en ciencias matemáticas proporciona la capacidad analítica, de formulación de problemas y el desarrollo de modelos matemáticos, estas habilidades no son suficientes para el éxito en el ámbito profesional, generando dos distorsiones al objetivo de mayor presencia matemática en las actividades productivas:
  - Desde la educación básica no se inculca suficientemente la aplicabilidad de las matemáticas a los problemas reales, y los propios egresados y egresadas ven con recelo salidas profesionales alternativas a la docencia o la investigación.
  - Gran parte de las personas egresadas universitarias en matemáticas que no desean dedicarse a la docencia o la investigación y desconocen la enorme demanda potencial de profesionales de las matemáticas en disciplinas y actividades económicas diversas.
- Superar las barreras del tejido productivo para insertar matemáticos y matemáticas, derivadas, por una parte, del desconocimiento del valor que ofrece el capital humano matemático para resolver problemas organizacionales, mejorar la eficiencia y desarrollo de negocio y, por otra, en el reducido tamaño medio de las empresas, que es un factor limitador inherente al tejido productivo español.

A continuación se ofrecen algunos casos de éxito en transferencia matemática en España en sectores concretos.

### **Caso de éxito 1. Las matemáticas en el sector energético**

Cerca del 50% de la contribución al VAB del sector energético es explicada por el *input* matemático. No es de extrañar un resultado tan aparentemente llamativo. Y es que las diversas actividades que componen el sector energético son altamente demandantes de matemáticas, dado el elevado grado de capitalización. Efectivamente, las matemáticas están presentes en prácticamente todas las fases de la cadena de valor de este sector económico. Desde los estudios previos a las perforaciones de búsqueda de yacimientos, hasta los que tratan de estimar la fiabilidad de la duración de una red eléctrica. Asimismo, el modelaje matemático permite realizar predicciones de consumo eléctricos y detección de fraude, así como la optimización de los activos generadores o las redes de transporte de energía.

## **Caso de éxito 2. Las matemáticas en el sector financiero, de auditoría y de seguros**

Las matemáticas son la herramienta más poderosa de la que disponen los humanos para enfrentarse a la toma de decisiones en contextos de incertidumbre. Esta es la razón esencial por la que tienen una presencia tan destacada en el sector financiero y de seguros. Precisamente, en este último ámbito, el producto transado entre una entidad aseguradora y un asegurado es una prima de seguro, que en realidad refleja un cálculo actuarial o probabilístico. Asimismo, la algoritmia es una herramienta de ayuda para la peritación en casos de siniestro. Así, cerca del 60% del VAB del sector de seguros corresponde al *input* matemático. Un porcentaje similar al que representa en el sector financiero, muy vinculado a este último, en cuanto su actividad es dependiente tanto de modelización y gestión de riesgos, así como de uso intensivo de fórmulas diversas de capitalización. La enorme liberación de información en tiempo real que han permitido los últimos desarrollos tecnológicos es un enorme campo de experimentación para la introducción de matemáticas en diversas partes de la actividad financiera, como, por ejemplo, la predicción de la demanda de efectivo en cajeros electrónicos.

## **Caso de éxito 3. Las matemáticas en el sector biosanitario**

Uno de los ámbitos de transferencia quizá más relevante por sus claras externalidades positivas a la sociedad es la que tiene que ver con el ámbito biosanitario. En España se han desarrollado, en los últimos años, diversas iniciativas de enorme alcance, como, por ejemplo, el diseño e implementación de marcadores para la detección precoz del Alzheimer, la generación de modelos probabilísticos para el diagnóstico del cáncer o el modelado del metabolismo celular. Por otra parte, las herramientas matemáticas han servido para avanzar en la sofisticación de diversos tratamientos, como las prótesis adaptadas a la estructura de un paciente determinado, la robótica en intervenciones de traumatología, etc. Otros desarrollos reseñables son la reconstrucción 3D de órganos o a la aplicación de algoritmos para la clasificación de muestras biológicas o modelos de optimización de la logística en hospitales en regiones con mucha dispersión, como es el caso de Castilla y León.

## **Caso de éxito 4. Las matemáticas en el medio ambiente**

Otro de los ámbitos de creciente relevancia de aplicación matemática con generación de externalidades positivas es el medio ambiente. En un contexto marcado, además, por la urgencia de políticas de freno de las tendencias de cambio climático

que amenazan el equilibrio y la sostenibilidad de los ecosistemas. En España, un país que atesora por otra parte un enorme patrimonio natural, han proliferado en las últimas décadas iniciativas de transferencia matemática para mitigar los efectos de problemas medioambientales con modelos de predicción de sequía, inundaciones o diversos fenómenos atmosféricos adversos. Asimismo, destaca la aplicación de modelos de riesgo de incendio, uno de los problemas medioambientales que suele azotar determinadas zonas de la península recurrentemente.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE POLÍTICA PÚBLICA

Las principales conclusiones del estudio realizado por Afi sobre el impacto socioeconómico de las matemáticas en España son las siguientes:

- La naturaleza económica de las matemáticas es compleja. Alterna características de bien público de club, con una condición de bien privado, por los beneficios apropiables que se derivan de su uso en las actividades económicas.
- La participación de las matemáticas en las actividades productivas es transversal, pues afecta a todos los sectores, así como interviene en las distintas fases del proceso productivo. Desde el diseño, modelaje, simulación y prototipado de productos, a la optimización de procesos productivos y de organización y el análisis de datos.
- La revolución de Internet ha situado a las matemáticas como *input* fundamental de la producción, en tanto en cuanto los servicios han ido incorporando de manera creciente tanto capital físico tecnológico basado en matemática (tecnologías de la información y las comunicaciones, *softwares*, dispositivos electrónicos, etc.), como capital humano matemático.
- Las actividades con intensidad matemática generaron un millón de ocupados en 2016, lo que representó el 6% del empleo total de la economía española. Si se sumasen los efectos indirectos e inducidos, el impacto en empleo se elevaría hasta el 19,4% del total.
- En términos de VAB, el impacto de las actividades con intensidad matemática se situó hasta el 10,1% del total en 2016 (26,9% del total si se añadiesen los efectos de arrastre).
- Las actividades económicas con mayor impacto de las matemáticas son la informática, las actividades financieras, los servicios de telecomunicaciones y la rama de energía eléctrica y gas.

- La magnitud de estos impactos es menor que la obtenida en otros países europeos donde se ha realizado un estudio similar, ya que en términos de empleo, el impacto directo oscila entre el 10%-11% del total, mientras que en VAB el intervalo se encuentra entre el 13%-16% del total.
- La diferencia se explica, eminentemente, por la estructura productiva española, que está más orientada hacia actividades con menor presencia de profesiones que requieran cierta intensidad matemática.
- Las matemáticas están en la base del aumento de la productividad del trabajo, constituyendo un conocimiento estratégico para que la economía española y su tejido empresarial puedan aprovechar las oportunidades derivadas de la revolución tecnológica asociada a la robotización y la inteligencia artificial.
- Si España incrementase la proporción de personas graduadas STEM sobre el total de la población al mismo nivel que en Francia, la productividad del trabajo podría aumentar en un 2,2% sobre los valores actuales.

A partir de esas conclusiones, el informe de Afi propone las siguientes recomendaciones:

- Repensar el modelo educativo para lograr que: 1) Las matemáticas estén más presentes en los programas educativos; y 2) Las y los matemáticos tengan una mayor comprensión de la capacidad de aplicación al mundo real de las herramientas y habilidades adquiridas en su proceso de formación.
- Mejorar el engarce entre el modelo de formación en matemáticas y las necesidades del tejido productivo, aproximando la universidad y centros de investigación a las empresas mediante la celebración de reuniones, convenios de colaboración, prácticas profesionales de estudiantes, etc.
- Impulsar el gasto en I+D+i en las ciencias matemáticas, puesto que derivan claras externalidades tanto al conjunto de ciencias STEM como en sus vectores de aplicación tecnológica al tejido productivo, redundando en ganancias de bienestar para el conjunto de la sociedad.
- Incrementar los incentivos a las matemáticas aplicadas, tratando de equipararlos a los ofrecidos a la investigación científica, para que los avances sean trasladados al tejido productivo.
- Visibilizar en el entorno empresarial la utilidad que reporta la incorporación de profesionales de las matemáticas en las diversas fases del proceso productivo, así como en el conjunto de las organizaciones, mediante la celebración de encuentros entre ambos perfiles, el acercamiento universidad-empresa, la puesta en común de casos de éxito, etc.

# IGUALDAD DE GÉNERO EN EL ÁMBITO DE LAS MATEMÁTICAS

Marta Macho Stadler (Coordinadora)<sup>1</sup>, Edith Padrón Fernández (Coordinadora)<sup>2</sup>,  
Laura Calaza Díaz<sup>3</sup>, Marta Casanellas Rius<sup>4</sup>, Mercedes Conde Amboage<sup>5</sup>,  
Elisa Lorenzo García<sup>6</sup>, María Elena Vázquez Abal<sup>5</sup>

1: Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea

2: Universidad de La Laguna

3: CFR de Lugo

4: Universitat Politècnica de Catalunya

5: Universidade de Santiago de Compostela

6: Université de Rennes

## 1. INTRODUCCIÓN

En 2005, la Real Sociedad Matemática Española (RSME) manifiesta su compromiso con la igualdad de género mediante la constitución de la Comisión Mujeres y Matemáticas, consciente de las desigualdades ligadas al desarrollo profesional de las matemáticas o a la decisión vocacional de elegir carreras próximas a esta ciencia. Desde entonces, se han realizado en torno a esta temática diversos estudios, análisis, actividades, colaboraciones con diferentes entidades, etc.

No hay que negar que durante estos años la situación de las mujeres en el acercamiento a profesiones relacionadas con las matemáticas ha mejorado, pero también es cierto que, en estos últimos años, este avance se ha ralentizado. La preocupación por esta desaceleración, como se muestra con claridad, también en otros capítulos del Libro Blanco, es una de las motivaciones que promueven este informe. Estamos en un momento en que la conciencia y preocupación por la desigualdad de género está en la agenda política y social, en algunas ocasiones desgraciadamente sin un convencimiento real. Sin embargo, no se puede dejar pasar esta oportunidad para conseguir avances importantes y definitivos. A la vez, hay que estar vigilantes para que las mejoras alcanzadas no se reviertan.

Por todas estas consideraciones, este documento, integrado en el Libro Blanco de las Matemáticas de la Real Sociedad Matemática Española, tiene como objetivo analizar algunos aspectos concretos relacionados con la desigualdad de género en donde las matemáticas están presentes. Además se propondrán actuaciones realistas que permitan mejorar las actuales condiciones para que tanto instituciones como sociedad puedan asumirlas como propias y llevarlas a cabo.

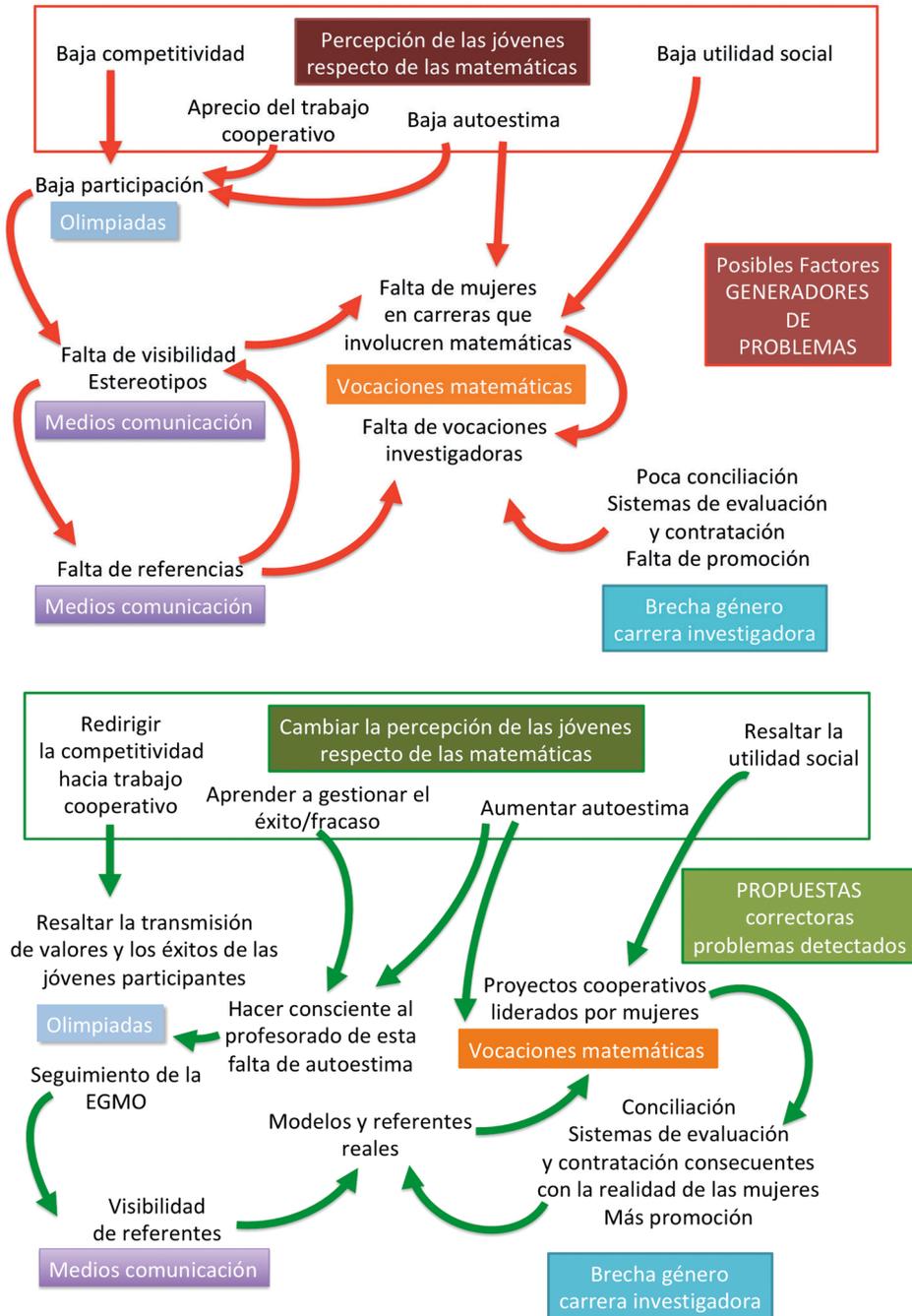
Los problemas que se abordan en este informe son los siguientes:

- Vocaciones matemáticas desde una perspectiva de género.
- Olimpiadas matemáticas y desigualdad de género.
- Brecha de género en la carrera investigadora.
- Tratamiento en medios de comunicación y redes de temas relacionados con la igualdad en la ciencia y, en particular, en las matemáticas. La importancia de que las mujeres se incorporen a la divulgación matemática.
- Mujeres, matemáticas y cooperación.

Se trata de cinco cuestiones bien diferenciadas pero entre las que existen conexiones evidentes. Muchos de los problemas concretos que se detectan en cada una de ellas están conectados con algunos de los que se presentan en el resto de epígrafes. Al aportar soluciones a uno de ellos, por tanto, se pueden generar sinergias que mejoren algunas de las otras dificultades.

Estos dos diagramas, que ilustramos a continuación, muestran, por un lado, las conexiones entre los distintos problemas que se abordan en el documento y, por otro, el flujo que se puede generar con la solución de los mismos.

Figura 1



En este informe, cada epígrafe comienza con un análisis del planteamiento de los problemas. Estos últimos están avalados por los datos extraídos de diferentes fuentes que se muestran en el documento.

Con esta misma idea, se realizó una encuesta a través de un formulario de Google que estuvo activo desde 27/11/2018 hasta el día 05/01/2019. Fue lanzada a nivel nacional a través de diferentes plataformas: Sociedades Matemáticas, Universidades, Centros de Investigación, Institutos de Educación Secundaria, Empresas, redes sociales, etc. En esta encuesta se incluyeron diversas preguntas de clasificación para caracterizar a las personas encuestadas y una serie de cuestiones abiertas que permitieron analizar sus opiniones sobre ciertos aspectos relacionados con la perspectiva de género y las vocaciones matemáticas.

Un breve esquema del perfil de los y las encuestadas es el siguiente: el número total de respuestas es de 783. Una vez depurada (eliminando aquellas entradas que no especificaban correctamente sus datos iniciales), el total es de 741 personas encuestadas, de las cuales el 49,4% son hombres y el 50,6% restante son mujeres.

#### Rangos de edad:

- <30 años: 16,1%
- Entre 30 y 39: 15,1%
- Entre 40 y 50: 33,2%
- >50 años: 35,6%

#### Perfiles profesionales:

- Universidad o Centro de Investigación: 66,1%
- Empresa: 8,1%
- Enseñanza Media: 25,8%

#### Grado máximo de titulación:

- Bachillerato: 1,3%
- Grado/Licenciatura: 24,6%
- Máster: 17,4%
- Doctorado: 56,7%

Respecto a la metodología utilizada en el estudio posterior de los resultados de esta encuesta, comenzamos con un análisis descriptivo de las preguntas de clasificación que incluye: tablas de contingencia, medidas resumen y representaciones gráficas. Los resultados de esta encuesta están disponibles en diversos estudios y muestran que los estereotipos aún hacen creer a las chicas que están poco capacitadas para materias como las Matemáticas y que, sin embargo, están más preparadas para el aprendizaje de otras como la Biología o la Literatura.

Todos los resultados recabados (encuesta realizada, datos de otros estudios, etc.) sugieren una serie de preguntas a las que se debería dar respuestas y que se especifican en este informe. Con todo ello, se hace un análisis de los factores que pueden estar generando estos problemas. Dicha evaluación está basada en los datos señalados en la primera parte de cada epígrafe y en diferentes estudios especializados.

Finalmente, en la última parte de cada epígrafe se hace una serie de propuestas de actuación. Aquellas señaladas con un asterisco (\*) indican que, en nuestra opinión, pueden ser realizables en un breve periodo de tiempo. Muchas de estas medidas están ligadas con la educación. Se quiere aquí resaltar, en este sentido, que la toma de medidas en estadios tardíos de la educación pueden hacer muy difícil cambiar los estereotipos.

## **2. VOCACIONES MATEMÁTICAS DESDE UNA PERSPECTIVA DE GÉNERO**

### **2.1. Planteamiento de los problemas y datos que lo avalan**

En la encuesta realizada se propuso a las personas encuestadas que definieran en una frase por qué habían elegido las matemáticas como campo de estudio. En las respuestas no se observan grandes diferencias entre sexos o categorías profesionales. En general se citaron razones como la curiosidad, la afición, el interés, la pasión, el placer, la atracción por las matemáticas, la admiración y la fascinación por las mismas, la vocación, la influencia de profesores o profesoras, el rigor, el gusto por lo abstracto y por el pensamiento lógico (relacionado con la filosofía) o por los retos y la resolución de problemas (en los hombres de la universidad destaca el “efecto olimpiada”) o las posibilidades de salidas profesionales.

Sin embargo, diversos estudios muestran que los estereotipos aún hacen creer a las chicas que están poco capacitadas para materias como las Matemáticas y

que, sin embargo, están más preparadas para el aprendizaje de otras como la Biología o la Literatura. Estos mismos sesgos sugieren que las mujeres sienten que tienen más dificultad que los hombres para la orientación espacial y más facilidad para las relaciones sociales y la comunicación en general. Es por ello que muchas niñas y mujeres no se encuentran cómodas cuando tratan de acercarse a las matemáticas.

Diversos estudios muestran que los estereotipos aún hacen creer a las chicas que están poco capacitadas para materias como las Matemáticas y que, sin embargo, están más preparadas para el aprendizaje de otras como la Biología o la Literatura

Las diferencias entre las puntuaciones medias en Matemáticas en las pruebas Pisa 2015 entre chicos y chicas (alumnado de 15-16 años) alcanzan 8 puntos en el promedio de los países de la OCDE y 11 puntos en el total de la UE, a favor de los chicos. En Finlandia, las mujeres superan a los hombres. En España, esa diferencia es de 16 puntos a favor de los hombres. En Singapur, donde se obtienen los mejores resultados en estas pruebas, la diferencia entre sexos son inexistente, y los resultados de las chicas son muy superiores a los de los chicos españoles. Hay que destacar que la puntuación de las alumnas es superior a la de los alumnos en países donde se produce una segregación por sexo durante los estudios de secundaria (Jordania, Emiratos Árabes, Qatar...). Estas situaciones de segregación ciertamente no favorecen la igualdad pero este dato es una prueba más de la presión que sienten las mujeres cuando comparten clases con los compañeros masculinos.

En el ámbito científico en general, las diferencias por género no aparecen tan acentuadas: 3,5 puntos es la diferencia entre mujeres y hombres en el promedio de los países de la OCDE, 5,3 en UE y en España 6,6, a favor de los hombres. Es claro entonces que, en el caso de las matemáticas, estos datos son manifiestamente mejorables.

Según los datos del Informe OCED (2015), en promedio en los países de la OCDE, los chicos manifiestan 11 puntos porcentuales más que las niñas en estar de acuerdo en que “aprender temas avanzados de ciencias escolares sería fácil para ellos/as”; 12 puntos porcentuales más que las chicas en creer “que los temas de ciencia son fáciles”; 11 puntos porcentuales más propensos que las chicas a pensar “que pueden aprender fácilmente temas avanzados de ciencias”. El 63% de los chicos, pero solo el 52% de las chicas, indicaron “que no estaban de acuerdo en que no son buenos/as en matemáticas”. Además, en los países de

la OCDE, el 30% de ellas y el 45% de ellos señalan “que entienden, incluso el trabajo más difícil, en las clases de Matemáticas”. Se preguntó al alumnado sobre si planeaba seguir una carrera que involucre muchas matemáticas. El 53% de los niños dijo que sí, pero solo el 38% de las niñas señalaron esta posibilidad.

A la vista de estos datos, parece que las chicas sienten más estrés cuando se enfrentan a las Matemáticas, manifestando mucha más preocupación por la posibilidad de obtener bajas notas en esta materia. Por otro lado, resulta curioso que, aunque ellas obtengan mejores notas en Matemáticas, sientan que no son buenas en esta materia y manifiestan que tienen que dedicarle mucho esfuerzo a esta asignatura para superarla satisfactoriamente. En definitiva, parece que el nivel de autoexigencia femenino es mucho mayor que el masculino.

Aunque ellas obtengan mejores notas en Matemáticas sienten que no son buenas en esta materia y manifiestan que tienen que dedicarle mucho esfuerzo a esta asignatura para superarla satisfactoriamente

En España, los datos de matrícula y personal egresado relativos al curso 2016/2017 (ver Igualdad en Cifras, 2019) desagregados por género son los siguientes:

**Tabla 1**

Curso 2016/2017	% Mujeres matriculadas	% Mujeres egresadas
ESO	48,7	52,1
Bachillerato	52,8	55,4
	46,5 (Ciencias)	
FP Básica	29,2	29,9
FP Grado Medio	43,3	47,9
FP Grado Superior	47,3	50,2
Grado universitario (ciencias)		53,5
Máster (ciencias)	45,8	53,5

En casi todos los niveles (salvo en algunos niveles de FP) mujeres y hombres comparten estudios de forma paritaria. Además, el porcentaje de éxito de las chicas es ligeramente mayor que el de los chicos.

En lo relativo a los estudios de matemáticas en nuestro país, según los datos presentados en la XVIII Reunión de la Conferencia de Decanos de Matemáticas (Jaén, 19 y 20 de abril de 2018), el porcentaje de mujeres matriculadas (nuevo ingreso)

en grados de Matemáticas en los cursos que van desde 2014/2015 a 2017/2018 se mueve en una horquilla de 43,92% - 40,62%. En los dobles grados que incluyen Matemáticas, el porcentaje es mucho más bajo entre 32,86% y 30,37%.

No debemos minimizar lo que se ha conseguido durante estos años con la incorporación de las mujeres a una disciplina como las matemáticas, pero parece que se ha vuelto a abrir la brecha con la introducción de los dobles grados. Habría que estudiar si esta diferencia es debida a la inclusión de carreras como Física e Informática o a la exigencia competitiva de la nota de admisión, tanto por la nota en sí misma, como por la introducción del factor competitivo.

¿Cómo afrontar la falta de autoestima de las chicas para abordar los estudios de Matemáticas?

## 2.2. Preguntas a las que dar respuesta

- ¿Cómo afrontar la falta de autoestima de las chicas para abordar los estudios de Matemáticas?
- ¿Cómo conseguir que las niñas y mujeres encuentren en las matemáticas una herramienta útil para su realidad cotidiana?
- ¿Qué actuaciones pueden reducir la brecha de género en los dobles grados?
- ¿Cómo ayudar al profesorado para que favorezca las vocaciones matemáticas entre las alumnas?
- ¿Cómo se pueden implicar a las instituciones (ministerios, comunidades, RSME, universidades, etc.) en el fomento de las iniciativas que favorezcan las vocaciones matemáticas entre las jóvenes?

## 2.3. Factores que pueden estar generando estos problemas

a) *La baja autoestima que declaran las chicas al afrontar una materia como las Matemáticas*

En diferentes estudios, las mujeres parecen manifestar una mayor desconfianza en sus logros en el área de las matemáticas, reproduciendo un mayor pensamiento estereotipado y una menor competencia percibida para el aprendizaje de las matemáticas. Algunos de estos estudios plantean que, de manera inconsciente, el profesorado tiende a dirigirse (preguntando, motivando cuestiones, incitando a la participación,...) a los hombres más que a las mujeres durante la clase.

Se estima que esto podría tener implicaciones en la autoestima de las niñas y las jóvenes, pues les puede hacer pensar que las matemáticas no son lo suyo. Es importante conseguir, para elevar su autoestima, que esta implicación de mujeres y niñas en clase sea real. El primer paso es ser consciente de que es necesario hacer un esfuerzo en implicarlas en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Estamos hablando de incentivar la responsabilidad que el profesorado tiene en la construcción de la igualdad de género para ayudar en el acercamiento de las mujeres a los estudios de Matemáticas en niveles de primaria y secundaria. Muy especialmente en primaria ya que en secundaria estos estereotipos son difíciles de modificar.

En la encuesta realizada, se incluyó una pregunta acerca del grado de conformidad con la frase: “Las mujeres jóvenes tienen menor autoestima en cuestiones relacionadas con las matemáticas”. Solo el 34,92% de las personas encuestadas se muestran de acuerdo con dicha afirmación. Dentro del grupo de las personas que trabajan en una universidad o centro de Investigación, el 30,93% de los hombres y el 47,25% de las mujeres se identifican con la afirmación. En el mundo de la empresa, dichos porcentajes se mueven en torno al 29% y 40% para hombres y mujeres, respectivamente. Sorprendentemente, dichos porcentajes bajan hasta el 17% y 36% en el caso de hombres y mujeres pertenecientes a la enseñanza media. En resumen, podemos concluir que mayoritariamente las personas encuestadas no perciben que “las mujeres jóvenes tienen menor autoestima en cuestiones relacionadas con las matemáticas”, especialmente entre el profesorado de enseñanza media, que es el grupo que está más en contacto con las chicas que deben empezar a definir su futuro profesional.

*b) Las niñas y jóvenes encuentran las matemáticas lejanas de una realidad cotidiana*

El matemático británico P. Ernest afirma en *The popular image of Mathematics* (ver Ernest, (1993)) que “(...) *la imagen popular de las matemáticas es difícil, fría, abstracta, ultra racional, importante y fundamentalmente masculina*”. Con esta sentencia pone el énfasis en que esta imagen de las matemáticas puede convertirse en un obstáculo para que las mujeres expresen su interés por las mismas. La enseñanza de las Matemáticas actual favorece una percepción de esta materia como un gran edificio ya construido en el que el profesorado describe al alumnado las herramientas para entender cada uno de los elementos que lo configuran. Se trata de una construcción ya cerrada, ya terminada donde poco se puede aportar. Es frecuente que se nos pregunte a los matemáticos y matemáticas si

queda algo de la disciplina por descubrir. Esta pregunta es una prueba más de esta percepción social de las matemáticas como una disciplina inmutable, estática y sin posibilidad de cambio.

La encuesta incluía también la afirmación: “Las matemáticas no son percibidas como útiles para dar servicio a la sociedad, suponiendo un elemento desmotivador para que las mujeres jóvenes elijan las matemáticas como futuro profesional”. A esta cuestión responden 717 de las 741 personas encuestadas. Entre las que sí responden, el 35% afirma estar de acuerdo con dicha afirmación. Dentro del grupo de la gente que trabaja en una universidad o centro de investigación, el 21,1% de los hombres y el 37,16% de las mujeres se muestran de acuerdo con la afirmación. En el mundo de la empresa, dichos porcentajes se mueven en torno al 40% y 65% para hombres y mujeres, respectivamente. En el caso de la enseñanza media, los porcentajes se sitúan en el 39% y 47% para hombres y mujeres, respectivamente.

Además, la lejanía de lo cotidiano y de las posibles aplicaciones de las matemáticas puede ser otro factor influyente a la hora de despertar las vocaciones científicas que precisan de una buena formación matemática. Parece un criterio contrastado en diferentes estudios que las mujeres se sienten más cómodas abordando problemas con un claro perfil de servicio social y con una utilidad directa para el colectivo.

En resumen, estos datos reflejan cómo se percibe la utilidad de las matemáticas para dar servicio a la sociedad. Destaca el porcentaje tan elevado (65%) entre las mujeres que trabajan en la empresa que afirman estar de acuerdo con que las matemáticas no son percibidas como algo útil y cómo esto supone un elemento desmotivador tanto para que hombres y mujeres jóvenes elijan matemáticas como futuro profesional.

*c) Formación escasa en la búsqueda de estrategias docentes para la reducción de la brecha de género en la enseñanza de las matemáticas es escasa*

Respecto de la pregunta: “La forma de enseñar matemáticas influye en las elecciones profesionales de las mujeres jóvenes”, el 56,29% de las personas se muestran de acuerdo con dicha afirmación. Dentro del grupo que trabaja en una universidad o centro de investigación, el 44,03% de los hombres y el 67,57% de las mujeres se sienten identificadas con la afirmación. En el mundo de la empresa, dichos porcentajes se mueven en torno al 43% y 75% para hombres y mujeres, respectivamente. El comportamiento es similar para el caso de la enseñanza media, donde dichos porcentajes se sitúan en el 39% para ellos y 85% para ellas.

En resumen, estos datos muestran cómo mayoritariamente las mujeres encuestadas, independientemente de su perfil profesional, reconocen que las jóvenes se ven influenciadas por la manera de enseñar matemáticas. Este hecho no es igualmente reconocido por el colectivo de los hombres.

Estudios previos encuentran que los países con mayor igualdad de género tienden a tener más estrecha la brecha de género en el campo de las matemáticas. También la enseñanza de la disciplina puede concienciar al alumnado de la necesidad de trabajar por la igualdad de género. Para ello, el equipo docente requerirá de estrategias educativas que ayuden a afrontar estos caminos.

*d) Dentro de las ciencias, las chicas que optan por carreras universitarias prefieren apostar por aquellas que tengan menos matemáticas*

En el informe Pisa se reconoce que, en promedio, el 53% de los niños, pero solo el 38% de las niñas, se plantean hacer una carrera que involucre muchas matemáticas. Además, aquellas estudiantes que desean realizar carreras científicas, mayoritariamente esperan trabajar en campos de salud y sociales, mientras que los chicos esperan tener un empleo como ingenieros o científicos informáticos.

Los juegos de niños y niñas reproducen estos estereotipos desde una edad muy temprana, son muy difíciles de cambiar y, por lo tanto, influyen en el momento en que el estudiantado ha de decidir sobre la formación universitaria que quieren realizar.

Cuando en la encuesta se preguntaba sobre la apreciación de la afirmación: “Las mujeres solicitan en igual medida que los hombres, las titulaciones o los grados más competitivos”, se obtuvieron un total de 513 respuestas (228 de las personas encuestadas restantes no respondieron), de las cuales un 43,27% se muestra en desacuerdo con dicha afirmación. Dentro del grupo de los trabajadores y trabajadoras en una universidad o centro de investigación, el 42,01% de los hombres y el 53,54% de las mujeres no comparten la afirmación. En el mundo de la empresa, dichos porcentajes se mueven en torno al 48% y 32% para hombres y mujeres, respectivamente. En el caso de la enseñanza media, el pensamiento de hombres y mujeres es muy similar, situándose el porcentaje de desacuerdo en torno al 38%.

En resumen, exceptuando el caso de las mujeres universitarias, más de la mitad de las personas encuestadas piensan que las chicas solicitan en igual medida que los chicos los grados más competitivos, independientemente del perfil profesional. Algunas respuestas manifiestan que las mujeres no ven un valor en ser

competitivas, que las familias ayudan a que ellas no opten por estudios que se consideran muy exigentes o que las salidas profesionales de determinadas carreras son más hostiles a las mujeres.

En cuanto a la percepción social que se tiene respecto de si: “El porcentaje de alumnas está descendiendo en los estudios universitarios relacionados con las matemáticas” se obtuvieron en nuestra encuesta 405 respuestas (336 participantes no respondieron), de los cuales un 21,48% se muestra de acuerdo con dicha afirmación. Dentro del grupo de las personas que trabajan en una universidad o centro de investigación, el 18,24% de los hombres y el 31,53% de las mujeres comparten la afirmación. En el mundo de la empresa, un 12% de ellos afirman estar de acuerdo mientras que ninguna mujer así lo confirma. En el caso de la enseñanza media, los porcentajes de chicos y chicas que alegan estar de acuerdo son del 12,5% y del 27,45%, respectivamente.

En definitiva, la percepción social sobre la evolución del porcentaje de mujeres que realizan estudios universitarios relacionados con las matemáticas es que no es descendente.

## 2.4. Propuestas de actuación

### *a) Fomentar la intervención de las chicas en clase, incidiendo en que el error es también un elemento del proceso de aprendizaje*

El profesorado debería hacer entender que el éxito o el fracaso son momentos puntuales. Lo que importa es el valor para continuar. Esta medida, así como muchas de las que indicamos a continuación, deberían ser tomadas en edades tempranas (en primaria) ya que cuanto más se retrasen, más difícil será cambiar los estereotipos.

### *b) Facilitar ambientes de enseñanza de las matemáticas no competitivos*

Diversas experiencias en el aula han puesto de manifiesto que las mujeres aprenden mejor en ambientes donde existe un clima de cooperación y no se alienta la competitividad. El trabajo en grupo puede ayudar a que las chicas se sientan en un ambiente menos hostil. En diseño cooperativo es importante establecer responsabilidades que pueden ayudar a que ellas se sientan responsables de una parte del trabajo que aportan al grupo y apoyadas por el grupo en la toma de responsabilidades.

Diversas experiencias de aula han puesto de manifiesto que las mujeres aprenden mejor en ambientes donde existe un clima de cooperación y no se alienta de competitividad

*c) Fomento de la divulgación de las matemáticas como un elemento con énfasis en la utilidad y la aportación a las mejoras sociales*

Fomentar una transmisión de valores alternativos que no muestren a las matemáticas como un conjunto de conocimientos “cerrado” en los que el alumnado no tenga nada que aportar.

*d) Cuidar la elección de contextos en los que se desarrollan los problemas de primaria y secundaria que se llevan a la clase (\*)*

Analizar qué temas les pueden interesar a las estudiantes y ponerlos en valor en las clases de matemáticas. Las editoriales de libros de texto deberían tener en cuenta estos aspectos. Las instituciones (ministerio o comunidades autónomas) deberían premiar iniciativas que favorezcan una cuidada elección de temáticas que abogue por la equidad.

*e) Elaboración de material para ayudar al profesorado a favorecer vocaciones científicas entre las alumnas y contrarrestar los estereotipos (\*)*

En este aspecto es importante que se le ofrezcan al profesorado estrategias docentes, desde la propia materia de las matemáticas, que puedan facilitar la toma de conciencia del alumnado respecto de la necesidad de conseguir la igualdad de género. Es preciso elaborar material al respecto.

*f) Creación de juegos educativos matemáticos con un claro perfil social que rompan estereotipos de género (\*)*

La búsqueda de elementos que resulten atractivos para las nuevas generaciones pueden ser material motivador que ayude a crear conciencia de igualdad y a despertar vocaciones científicas entre las estudiantes.

*g) La RSME podría conceder medallas virtuales de calidad a los centros de enseñanza para distinguirlos por su labor real en HACER MATEMÁTICAS EN FEMENINO (\*)*

Esta medalla virtual pretende visualizar a todos los centros educativos que realicen actividades para sensibilizar sobre la igualdad de la mujer

en las matemáticas y que fomenten vocaciones matemáticas entre niñas y jóvenes.

*h) Visualizar el trabajo de las mujeres en el ámbito de las matemáticas en los centros de primaria y secundaria (\*)*

Se trataría de dar a conocer la biografía de grandes matemáticas, su pasión, su lucha para conseguir sus objetivos, además de impartir conferencias de mujeres matemáticas que cuenten sus experiencias. Con ello, se subsanaría la falta de referentes femeninos en el ámbito de las matemáticas.

### 3. OLIMPIADAS MATEMÁTICAS Y DESIGUALDAD DE GÉNERO

#### 3.1. Planteamiento de los problemas y datos que lo avalan

La Olimpiada Internacional de Matemáticas IMO (ver <http://www.imo-official.org/>) es un concurso de resolución de problemas de reconocido prestigio, dirigido a estudiantes de secundaria y bachillerato. Nació en 1959 en Rumanía, con el propósito de ayudar a jóvenes a descubrir su vocación por las matemáticas a través de la resolución de problemas.

Grandes personalidades mundiales en el campo de las matemáticas iniciaron su brillante carrera profesional precisamente cuando, siendo adolescentes, participaron en la Olimpiada. Ganaron en su momento una medalla de oro en la IMO algunos matemáticos reconocidos, como los medallistas Fields Terence Tao, o Grigori Perelman, hasta llegar a los más recientes, entre los que se encuentran Artur Avila y Maryam Mirzakhani, único iberoamericano y única mujer, respectivamente, merecedores de tan prestigiosa distinción.

En el caso de España, y también en 1959, la Real Sociedad Matemática Española puso en marcha la Olimpiada Matemática Española OME. Sin embargo, comenzó a participar en la competición internacional en 1983.

El porcentaje de mujeres participantes en la IMO ha sido siempre muy bajo (ver <http://www.imo-official.org/>), en torno al 10%. De forma más precisa, los datos de chicas en las olimpiadas internacionales van de un 7,6% en 2006, a un 11,8% en 2016. Aunque se ha mejorado en estos últimos 10 años, el avance no es significativo. De hecho, en 2017 ha vuelto a recaer a un 10,1%. Los datos de 2018 son similares a los anteriores, 107 países con 594 participantes de los cuales solo 60 fueron mujeres, lo que supone el 10,1%.

En la OME, de 2018, solo 4 participantes eran chicas de un total de 77; en 2019 la participación ascendió a 10 chicas de 78 participantes; pero en ninguna de estas dos ocasiones hubo chicas en el equipo nacional. De las 6 medallas de oro que se reparten cada año, y desde 1997 (año a partir del que hay lista de ganadoras y ganadores en la página de la OME) las únicas mujeres ganadoras de una medalla de oro han sido:

- María Pe Pereira: 1998
- Beatriz Sanz Merino: 1998
- Susana Ladra González: 2002
- Maite Peña Alcaraz: 2003, 2004
- María Isabel Cordero Marcos: 2004
- Elisa Lorenzo García: 2004, 2005
- Berta García González: 2015

Por tanto, solo una media de 0,6% de chicas por equipo español y todo ello gracias al insólito año 2004 en el que la mitad del equipo estaba formado por mujeres.

Como respuesta a esta situación, en Reino Unido, nace la iniciativa de una olimpiada matemática femenina. El objetivo principal es fomentar que más alumnas puedan descubrir su afición por las matemáticas, animándolas a desarrollar todo su potencial. Se trata de un programa fundamentalmente de apoyo a la aproximación de las jóvenes estudiantes al estudio de las matemáticas.

La idea cuajó rápidamente en aquellos países cuyo sistema educativo permite la separación por género en las aulas de secundaria, pero tardó en ser aceptada por otros, porque puede estar generando una mayor segregación y un reconocimiento de diferencia de capacidades.

El 8 de marzo de 2011, se convocó la European Girls' Mathematical Olympiad EGMO cuya primera edición se celebró en abril de 2012 en Cambridge (Reino Unido). Desde entonces, se ha ido organizando anualmente, contando con apoyo financiero europeo. Si en Cambridge (Gran Bretaña) participaron delegaciones de 19 países (entre ellos dos no europeos), en la séptima edición, celebrada en 2018 en Florencia (Italia), lo hicieron delegaciones procedentes de 52 países, de los cuales 36 eran europeos. En Kiev (Ucrania) en 2019, participaron 50 delegaciones de las cuales 32 eran europeas. En total, ha habido 196 participantes (142 europeas).

Entre los 16 países europeos que llevan participando desde la primera edición, vemos ya un claro aumento de la participación femenina en la IMO en los últimos años: 48 participaciones femeninas en los años 2006/2011 frente a 72 en los años 2012/2018. Si comparamos con los 8 países europeos que participan en la IMO y no han participado en ninguna EGMO, vemos que el número de chicas se ha mantenido casi constante: 33 participaciones en el periodo 2006-2011, frente a 34 en el periodo 2011/2018. Por otro lado, en los países que participan en IMO y en EGMO el porcentaje de participación de chicas en IMO pasa de un 5,3% en 2011 a un 17,3% en 2015 en crecimiento continuo. En este último periodo 2016/2018 se ha rebajado a un 10,8% (2017) y a un 10,5% (2018).

### 3.2. Preguntas a las que dar respuesta

Si la Olimpiada ha demostrado ser tan beneficiosa como caldo de cultivo del talento matemático, ¿cuáles son los elementos que generan que pocas mujeres se presenten a las mismas? ¿Se podrían tomar medidas al respecto? ¿Es esta situación un reflejo del poco interés de las chicas por actividades competitivas? ¿Pueden ayudar las EGMO a buscar soluciones al problema de la poca participación de las mujeres en la IMO? ¿Es posible modificar la estructura de las olimpiadas para que las chicas se animen a presentarse a la IMO?

Si la olimpiada ha demostrado ser tan beneficiosa como caldo de cultivo del talento matemático, ¿cuáles son los elementos que generan que pocas mujeres se presenten a las mismas?

### 3.3. Factores que pueden estar generando estos problemas

#### a) *Falta de autoestima*

Aunque no es poco el porcentaje de mujeres que deciden realizar el Grado de Matemáticas, en otros estudios en donde la matemática es relevante en la formación, como Física e Ingeniería, se manifiesta la poca autoestima de las chicas al enfrentarse con las matemáticas. Los estereotipos ayudan en esta percepción, ellas creen que no pueden ser buenas en matemáticas y si lo son, muchas veces entienden que no llegarán al nivel de sus compañeros.

Como un ejemplo ilustrativo, en un estudio de investigación educativa en Francia, varios grupos de alumnos y alumnas debían resolver un mismo ejercicio.

Cuando al estudiantado se le decía que era de geometría, las chicas lo hacían un 25 % peor que cuando se les decía que era de dibujo, mientras que los chicos lo hacían entonces ligeramente mejor.

Se podría decir que, en general, los estereotipos sociales promueven que la supuesta genialidad (matemática) es percibida de manera generalizada como un atributo masculino. La lucha contra estos prejuicios es complicada. En el caso de las olimpiadas, son pocos los referentes femeninos a los que las estudiantes pueden mirar.

#### *b) Miedo a la equivocación*

En algunos de estos estudios se detecta también que, en general, las chicas tienen más miedo a la equivocación y a la evaluación personal. Su nivel de exigencia personal parece más alto que el de los chicos.

En este sentido en Souchal, Toczek, Darnon, Smeding, Butera, Martinot (2014) se encuentra un estudio en el que a varios grupos de alumnos y alumnas se les pide resolver una misma serie de ejercicios. En unas ocasiones se les explica que es para evaluar el método docente y en otras, que se les va a evaluar y comparar a ellos y ellas mismas. Los chicos obtienen las mismas puntuaciones en los dos casos y las chicas lo hacen considerablemente peor en el segundo.

#### *c) Competitividad*

Parece que, en general, las mujeres no se sienten a gusto en ambientes competitivos. En el caso de las olimpiadas, esto es un factor que puede estar siendo determinante a la hora de que las chicas no participen en ellas. Es posible que la participación en la EGMO favorezca que se sientan más cómodas pero, de cualquier modo, esto solo podrá ser valorado con el tiempo.

#### *d) Referentes femeninos*

En el caso de las olimpiadas, pocos son los referentes femeninos que tienen las alumnas que se presentan a las mismas. Los referentes olímpicos son los medallistas Fields y todos son hombres con la excepción de Maryam Mirzakhani. Los modelos olímpicos se asocian al éxito en una trayectoria científica en el ámbito de las matemáticas. Es importante señalar que es una vía, como muchas otras y que tampoco el éxito en las olimpiadas garantiza el éxito como

matemática o matemático (ni siquiera que se vayan a dedicar a la disciplina en el futuro).

#### *e) Pruebas individuales*

Las mujeres se encuentran en general más cómodas en ejercicios colaborativos, en equipo, mientras que en las olimpiadas se premia el trabajo individual. Esto no facilita la integración de las estudiantes, ya que es posible que su baja autoestima y su nivel de auto-exigencia supongan factores que las sometan a una excesiva presión que origine la decisión de no presentarse a las olimpiadas.

#### *f) Datos de la encuesta realizada*

Como se ha comentado en la sección anterior, en líneas generales los hombres que están de acuerdo con la afirmación: “Las mujeres tienen menor autoestima en cuestiones relacionadas con las matemáticas” atribuyen este poco aprecio hacia ellas mismas a prejuicios, falta de confianza en sí mismas, poco gusto por la competitividad y la escasa existencia de modelos. Sin embargo, las mujeres achacan la falta de autoestima a los prejuicios del profesorado en el tratamiento diferenciado a alumnos y alumnas, los estereotipos que consideran que la genialidad y las matemáticas son cosa de hombres, la percepción social, el miedo a la equivocación y la auto-exigencia asociada muchas veces a la obligación de demostrar constantemente su valía.

En los niveles de Educación Secundaria Obligatoria, el alumnado no siente la necesidad de competir y es posible que esta percepción de falta de autoestima no sea tan relevante y se agudice a medida que avancen en sus estudios. En esos ambientes de mayor selección, los hombres se sienten más seguros y las mujeres pueden encontrarse más cohibidas.

A la afirmación: “La participación de las mujeres jóvenes en las olimpiadas matemáticas y en competiciones similares es muy baja” responden 569 personas de las 741 encuestadas. Entre las y los que sí responden, el 50,44% aseguran estar de acuerdo con dicha afirmación y el 49,56% no se muestran de acuerdo. Dentro del grupo de las personas que trabajan en una universidad o centro de investigación, el 48,52% de los hombres y el 60,28% de las mujeres están a favor de la afirmación. En el mundo de la empresa, dichos porcentajes se mueven en torno al 48% y 43% para hombres y mujeres, respectivamente. En el caso de la enseñanza media, dichos porcentajes se sitúan en el 33% para ellos y 53% para ellas,

aproximadamente. En resumen, estos datos reflejan cómo las mujeres que tienen una relación más directa con las mujeres jóvenes que aún se encuentran en un período de formación (sector universitario y enseñanza media) afirman (un 60% y un 52,7% respectivamente) estar de acuerdo con que la participación por parte del sexo femenino en competiciones matemáticas es muy baja. Sin embargo, este hecho no es igualmente reconocido por el colectivo de los hombres.

### 3.4. Propuestas de actuación

*a) La Olimpiada debería servir para transmitir valores, como por ejemplo, los relativos a la igualdad de género*

Se trata de ver si es posible convertir las olimpiadas en una oportunidad para el alumnado que desea disfrutar con las matemáticas. Si no se consigue una mayor visibilización de las jóvenes entre este alumnado, se mantendrán los estereotipos para las siguientes generaciones. Una idea a este respecto podría ser mostrar a mujeres cuando se envía la información de este tipo de concursos matemáticos o mandar testimonios de participantes de manera al menos paritaria.

Se trata de ver si es posible convertir las olimpiadas en una oportunidad para el alumnado que desea disfrutar de las matemáticas

*b) Favorecer concursos o actividades por equipos paritarios en los centros de secundaria, donde la colaboración sea un elemento prioritario (\*)*

Este tipo de actividades pueden fomentar la participación de las chicas.

*c) Hacer un seguimiento de la eficiencia de las EGMO en el acercamiento de las mujeres a la IMO*

En ningún caso EGMO puede favorecer la segregación. El objetivo último debe ser una olimpiada internacional donde chicos y chicas se sientan igual de cómodos.

*d) El profesorado debe ser consciente del problema de falta de autoestima y autoexigencia de las chicas cuando se enfrentan con las matemáticas, sobre todo en edades adolescentes*

Es sorprendente el bajo porcentaje de profesorado de secundaria que reconocen estos problemas. Esta consciencia puede favorecer la toma de

medidas para favorecer la implicación de las mujeres en concursos como las olimpiadas.

*e) Las olimpiadas deben ser un recurso más para disfrutar de las matemáticas*

La gestión del éxito o el fracaso en las mismas es un elemento que debería cuidarse por parte de las personas responsables de la organización de la competición. En el caso de las chicas, una mala gestión de estos elementos puede determinar un alejamiento de las matemáticas. Así, desde la organización de las olimpiadas, reconociendo el problema de la poca participación de mujeres en las mismas, se deberían intentar introducir elementos que beneficien un ambiente favorecedor para la participación de las chicas: mayor colaboración entre participantes, mejor gestión del fracaso o el éxito, etc.

La gestión del éxito o el fracaso a las mismas es un elemento que debería cuidarse por parte de las personas responsables de la organización de la competición

## **4. BRECHA DE GÉNERO EN LA CARRERA DE INVESTIGADORA**

### **4.1. Planteamiento de los problemas y datos que lo avalan**

En esta sección se plantearán algunos problemas relativos a la carrera académica e investigadora en matemáticas con los que se encuentran las mujeres en España. Para describir estas dificultades, mostraremos previamente algunos datos segregados por sexo. En primer lugar veremos cuál es el porcentaje de mujeres dentro del personal docente e investigador de las universidades públicas, en el máster y doctorado. En un segundo epígrafe analizaremos el éxito de las mujeres en convocatorias públicas, como son los contratos posdoctorales, premios o proyectos del plan nacional. Finalmente, presentamos algunos estudios que analizan el abandono de la carrera académica, número de publicaciones, citas, comités editoriales, sexenios y resultados de encuestas de estudiantes sobre profesorado.

### **4.2. Personal docente e investigador en las universidades públicas**

En la tabla 2 mostramos los datos de personal docente e investigador en matemáticas en las universidades públicas españolas, distribuidos por categoría y desagregados por sexo. Observamos que hay alrededor de un 34% de mujeres entre el personal docente e investigador en matemáticas, pero que las catedrati-

cas representan sólo el 11,9% del total que ostentan una cátedra. Se observa una menor brecha entre el personal contratado, pero el efecto tijera se nota tanto en funcionariado como en contratos.

**Tabla 2. Datos de personal Docente e Investigador en áreas de matemáticas (álgebra, análisis matemático, estadística e investigación operativa, geometría y topología, matemática aplicada) de Universidades públicas españolas distribuidos por categorías, curso 2016/2017.**

	Ambos Sexos	Mujeres	Hombres	% Mujeres
Total	3.778	1.296	2.298	34,30
Funcionariado	2.664	840	1.676	31,53
Funcionariado: Catedrático de Universidad (CU)	580	69	452	11,90
Funcionariado: Profesor Titular de Universidad (TU)	1.700	596	1.018	35,06
Funcionariado: Catedrático de Escuela Universitaria (CEU)	89	26	63	29,21
Funcionariado: Profesor Titular de Escuela Universitaria (TEU)	292	149	140	51,03
Contratados/as	1.086	446	604	41,07
Contratados/as: Ayudante	16	5	10	31,25
Contratados/as: Profesor Ayudante Doctor	96	52	42	54,17
Contratados/as: Profesor Contratado Doctor	436	192	225	44,04
Contratados/as: Profesor Asociado	362	111	241	30,66
Contratados/as: Profesor Colaborador/a	49	26	21	53,06
Contratados/as Profesor Lector	7	3	4	42,86

*Fuente:* S.G. de Coordinación y Seguimiento Universitario. Sistema Integrado de Información Universitaria (SIIU). Ministerio de Educación, Cultura y Deporte (ver (SIIU)).

En la tabla 3 se muestran los datos desagregados por sexo en función del área de conocimiento. Observamos que en estadística e investigación operativa es donde el porcentaje de mujeres es mayor (41,79%). Si eliminamos esta área de los datos de la tabla 1, obtenemos los siguientes datos de mujeres: 31,55 (total), 29,40 (funcionarias), 9,80 (CU), 32,55 (TU), 28,77 (CEU), 50,21 (TEU), 37,50 (contratadas), 21,43 (Ayudantes), 48,53 (ayudantes doctoras), 39,48 (contratadas doctoras), 26,60 (asociadas), 50 (colaboradoras), 33,33 (lectoras).

**Tabla 3. Distribución personal docente e investigador de matemáticas por área, curso 2016/2017**

	Total	Mujeres	Hombres	% Mujeres
Álgebra (005)	263	79	184	30,23
Análisis Matemático (015)	394	88	306	22,33
Estadística e Investigación Operativa (265)	1.017	425	592	41,79
Geometría y Topología (440)	228	47	181	20,61
Matemática Aplicada (595)	1876	657	1219	35,02
Total en todas las áreas	3.778	1.296	2.482	34,30

*Fuente:* S.G. de Coordinación y Seguimiento Universitario. Sistema Integrado de Información Universitaria (SIIU). Ministerio de Educación, Cultura y Deporte).

La brecha de género empieza ya en el máster y en el doctorado. La tabla 4 muestra los datos de personas egresadas de grado, máster y doctorado segregados por sexo entre 2014 y 2016.

**Tabla 4. Datos de egresados y egresadas en grados, másteres y doctorados de Matemáticas, en los cursos 2014/2015, 2015/2016 y 2016/2017**

Grado	Ambos sexos	Mujeres	Hombres	% Mujeres
2016/2017	962	412	550	42,83
2015/2016	958	453	505	47,29
2014/2015	728	328	400	45,05
Máster	Ambos sexos	Mujeres	Hombres	% Mujeres
2016/2017	571	175	396	30,65
2015/2016	239	65	174	27,20
2014/2015	210	71	139	33,81
Doctorado	Ambos sexos	Mujeres	Hombres	% Mujeres
2016/2017	573	162	411	28,27
2015/2016	491	140	351	28,51
2014/2015	337	96	241	28,49

*Fuente:* SIIU.

Se observa que en el grado, el número de mujeres se acerca a ser paritario. Sin embargo, en el doctorado la cifra se mantiene por debajo del 30%.

Cuando se preguntó en la encuesta cuál era la opinión sobre la afirmación: “El porcentaje de alumnas es similar al de alumnos en la etapa de estudios de doctorado”: obtuvimos un total de 415 respuestas (las 326 personas encuestadas restantes no respondieron), de los cuales un 60,48% se muestran en desacuerdo con dicha afirmación. Dentro del grupo de las personas que trabajan en una universidad o centro de investigación, el 59,34% de los hombres y el 66,67% de las mujeres no están de acuerdo con la afirmación. En el mundo de la empresa, un 75% de ellos afirman estar en desacuerdo frente al 60% de ellas. En el caso de la enseñanza media, los porcentajes de hombres y mujeres que manifiestan estar en desacuerdo son del 52,38% y del 42,11%, respectivamente. En resumen, nos encontramos con unos porcentajes muy elevados (superiores en la mayoría de los casos al 50%) de hombres y mujeres que dicen estar en desacuerdo con la afirmación.

Cuando se les sugirió que comentaran la frase: “Las mujeres tienen las mismas oportunidades en las etapas postdoctorales y de estabilización laboral” se obtuvieron un total de 559 respuestas (182 encuestados y encuestadas no respondieron), de los cuales un 54,38% se muestran en desacuerdo con dicha afirmación. Dentro del grupo de las personas que trabajan en una universidad o centro de investigación, el 39,44% de los hombres y el 63,25% de las mujeres no están de acuerdo con la afirmación. En el mundo de la empresa, un 60% de ellos afirman estar en desacuerdo frente al 68,42% de ellas. En el caso de la enseñanza media, los porcentajes de chicos y chicas que manifiestan no estar a favor son del 58,06% y del 65,38%, respectivamente.

En resumen, nos encontramos con unos porcentajes muy elevados (superiores en la mayoría de los casos al 50%) de hombres y mujeres que dicen estar en desacuerdo con la afirmación. El porcentaje más bajo lo tienen los hombres universitarios, que no perciben este problema de forma tan elevada como el resto de personas encuestadas.

Por último, hay que señalar que algunos estudios sostienen que en los procesos de selección del personal académico de universidades se observan sesgos sutiles de género que deberían ser tenidos en cuenta.

Algunos estudios sostienen que en los procesos de selección del personal académico de universidades se observan sesgos sutiles de género

#### 4.2.1. Convocatorias de recursos humanos nacionales en matemáticas

A continuación analizaremos el porcentaje de concesiones en convocatorias de recursos humanos del plan nacional (de forma conjunta incluyendo FPI, FPU, movilidad, RyC, JdC...), en matemáticas y segregadas por sexo.

**Tabla 5. Porcentaje de mujeres en matemáticas en convocatorias de recursos humanos del plan nacional**

Año	Solicitudes %	Concesiones %
2008	33,64	21,70
2009	26,27	22,96
2010	34,08	24,67
2011	32,37	33,52
2012	36,14	32,10

*Fuente: SIIU.*

Como se observa en la tabla 5, poca ha sido la variación en el porcentaje de mujeres solicitantes, manteniéndose alrededor de un 33%. En las concesiones observamos un cierto incremento. Esta baja participación resulta preocupante. Sorprende que siendo casi paritario el porcentaje de graduadas y graduados en matemáticas, no lo sea la incorporación de mujeres a la carrera investigadora.

**Tabla 6. Solicitudes y tasa de éxito en las convocatorias de recursos humanos del plan nacional en matemáticas**

	Solicitudes (Mujeres/ Hombres)	Tasa de éxito	
		Mujeres	Hombres
2012	206/364	27%	29%
2013	188/382	40%	37%
2014	198/138	39%	41%
2015	143/380	38%	33%
2016	135/201	39%	31%

*Fuente: Ministerio de economía, industria y competitividad (2016).*

Para los años 2012-2016 disponemos de la tasa de éxito de hombres y mujeres en las convocatorias de recursos humanos del plan nacional (véase la tabla 6) y no se observa prácticamente diferencia entre el porcentaje de éxito de ambos sexos respecto a las personas presentadas (excepto en los últimos dos años donde parece que las mujeres tengan un éxito ligeramente mayor).

En los años 2014 y 2015 no se concedió ninguna beca individual a mujeres matemáticas españolas en el programa Marie Sklodovska Curie Actions, pese a que un 26% de solicitudes eran de chicas (ver SIIU) mientras que los hombres españoles tuvieron un éxito del 13%. La tasa de éxito a nivel europeo en las mismas convocatorias fue del 15% para mujeres y 19% para hombres. La situación ha sido un poco distinta en el periodo 2016/2017 (ver Moss-Racusin, 2012), donde se ha concedido una de estas acciones a una mujer española y tres a hombres, dando una tasa de éxito del 14% a ellas y del 7% a ellos (frente a 21% de éxito de mujeres y 13% de hombres en la UE).

En la tabla 7 mostramos los datos para los Premios Vicent Caselles entre 2015 y 2018 (fuente: RSME).

**Tabla 7. Participación y éxito de hombres y mujeres en las ediciones 2015, 2016, 2017 y 2018 de los Premios Vicent Caselles**

Convocatoria	Hombres		Mujeres	
	Solicitantes	Concedidos	Solicitantes	Concedidos
2015	14	5	8	1
2016	23	6	6	0
2017	11	3	6	3
2017 (adicional)	12	1	2	0
2018	25	4	13	2
Total	75	19 (25,3%)	35	6 (17,2%)

*Fuente:* RSME.

Entre las y los 13 reconocidos con el Premio José Luis Rubio de Francia (en las ediciones del 2004 al 2018), solo ha sido galardonada una mujer, María Pe Pereira, en 2012. En estas cifras es de destacar el bajo porcentaje de mujeres que se presentan a estos premios.

Por lo que respecta a las solicitudes de proyectos del plan nacional, la tabla 8 muestra que el porcentaje de solicitudes con mujeres IP está por debajo del 20%. Además la tasa de éxito de mujeres es más baja que la de los hombres en general. Por consiguiente, también en este caso, se debe intentar corregir el bajo número de proyectos que son presentados por mujeres como IP y conseguir equiparar la tasa de éxito con la de los hombres.

Tabla 8. Datos por género sobres los IP de proyectos del plan nacional entre 2013 y 2016

Año	Solicitudes		Tasa de éxito	
	Mujeres	Hombres	Mujeres	Hombres
2013	26	125	69	67
2014	32	153	56	71
2015	35	132	51	61
2016	25	111	68	75

Fuente: Ministerio de Economía, Industria y Competitividad (2016).

Finalmente, en referencia a la Medallas de la RSME entre 2015 y 2018 se han concedido 7 a hombres y 5 a mujeres.

#### 4.2.2. Otros indicadores: abandono de la carrera académica, número de publicaciones, citas, comités editoriales, sexenios, participación en congresos, encuestas de estudiantes

En este apartado reportamos parte del estudio exhaustivo Mihaljevic et al., *The Effect of Gender in the Publication Patterns in Mathematics* (ver Mihaljević-Brandt, Santamaría, Tullney, (2016)) sobre las diferencias de género en publicaciones en revistas matemáticas. Este análisis permite, por ejemplo, estimar la tasa de abandono o interrupción de la carrera académica detectando los autores y autoras que dejan de publicar entre 5 y 10 años después de su primer artículo. Los resultados muestran que la tasa de abandono para las mujeres es más alta.

El mismo estudio permite ver patrones de publicación distintos entre hombres y mujeres. Por ejemplo, las mujeres tienden a publicar menos en el inicio de su carrera académica: los hombres publican de media un 9% más artículos durante sus primeros 5 años y un 13% más durante los primeros 10 años (a contar desde la publicación de su primer artículo) (véase la figura 3 de Mihaljević-

Brandt, Santamaría, Tullney, (2016)). Por otra parte, el 25% de las revistas matemáticas de impacto más alto del Journal of Citation Reports incluyen menos artículos con una mujer de coautora (ellas publican un 7,8% menos en revistas en este percentil que ellos) y con única firma de mujer (un 17,4% menos) (véase Mihaljević-Brandt, Santamaría, Tullney, (2016), figura 6). Hay que remarcar también que las mujeres publican menos artículos como únicas autoras: de media, un hombre publica un 38% de su trabajo como autor único en contraposición con un 29% en las mujeres (ver Mihaljević-Brandt, Santamaría, Tullney, (2016), figura 8). Estos datos son un indicativo de la preferencia de mujeres por la cooperación.

En referencia a las citas, los hombres se autocitan un 1,84 veces más que las mujeres en matemáticas (véase <http://www.eigenfactor.org/gender/self-citation/>) por lo que el número de menciones a una autora mujer será menor en media.

En el estudio de Topaz, Sen (2016) se observa que, entre las 435 revistas en áreas de matemáticas del Journal Citation Reports, de los 13.067 miembros de comités editoriales, el 8,9% son mujeres y el 90,3% son hombres (y para un 0,8% no se ha podido determinar el género).

Todos estos factores y otros que no se pueden documentar fácilmente contribuyen al hecho de que las mujeres en España no obtengan el mismo número de sexenios que los hombres: solo el 53% de las profesoras universitarias de ciencias consiguen tener el máximo número de sexenios posibles desde la obtención del doctorado, contra un 74% de hombres (ver SIIU, pág. 132). Esta situación perpetúa las desigualdades salariales que ocurren también en otros ámbitos de la sociedad.

A estos hechos se suma la poca visibilidad que tienen las mujeres en las conferencias organizadas en nuestro país. Los porcentajes de mujeres que son invitadas a tales eventos resultan insuficientes. Por normalidad no superan el 20%. Hay congresos en matemáticas que no incluyen a ninguna mujer. La visibilidad de científicas en estos eventos es un elemento fundamental para animar a las nuevas generaciones de mujeres a la carrera investigadora y para romper los estereotipos.

Finalmente, hay que tener en cuenta también otros sesgos que se producen durante la carrera académica de las mujeres. Por ejemplo, en el artículo A. Bo-

ring, K. Ottoboni, P.B. Stark (2016) se muestra que las encuestas de los alumnos y alumnas favorecen ligeramente a los profesores hombres.

### 4.3. Preguntas a las que dar respuesta

- ¿Cómo romper con el efecto tijera de distribución de personal docente e investigador?
- ¿Son necesarias las políticas de acciones positivas de género en el ámbito de la selección de personal docente e investigador?

¿Son necesarias las políticas de acciones positivas de género en el ámbito de la selección de personal docente e investigador?

- ¿Cómo afectan las dificultades de conciliación familiar a la carrera docente e investigadora?
- ¿Los sistemas de evaluación actuales perjudican a las mujeres?
- ¿Por qué el bajo porcentaje de mujeres que se presentan a convocatorias de recursos humanos?
- ¿Cómo mejorar la participación de las mujeres en las convocatorias de premios? ¿Cómo animar a las mujeres a que realicen un máster o doctorado?
- ¿Qué medidas tomar para incorporar a más investigadoras como conferenciantes principales en los congresos que se realizan en nuestro país?

### 4.4. Factores que pueden estar generando estos problemas

#### a) Carrera investigadora y conciliación

La carrera investigadora es fuertemente exigente. Cualquier parón en la misma supone un obstáculo que dificulta la promoción futura. Esta percepción podría ser la causa de que algunas mujeres opten por no comenzar el camino de la investigación. Puede que piensen que tomar esta vía les impedirá conciliar su vida personal con la profesional. La decisión de tener descendencia puede convertirse en una dificultad más.

La carrera investigadora es fuertemente exigente. Cualquier parón en la misma supone un obstáculo que dificulta la promoción futura

La realidad actual es que la dedicación de las mujeres al cuidado de sus descendientes y ascendientes es mucho mayor que la de los hombres. La situación

está cambiando pero muy lentamente. Ni en los CVs ni en los sistemas de evaluación no se consideran estas situaciones suficientemente.

#### *b) Escasez de mujeres en algunas áreas*

A la vista de los datos parece que las mujeres han apostado por temáticas matemáticas más cercanas a las aplicaciones. Por el contrario, se encuentran más alejadas de aquellas más teóricas. Al haber pocos referentes femeninos en estas áreas, puede que las mujeres vean estas temáticas como poco “amigables” para desarrollar su carrera investigadora. Parece que las mujeres tienen más tendencia a áreas interdisciplinarias y esto puede perjudicarlas inconscientemente puesto que la evaluación de la investigación todavía está muy segregada por materias (e incluso por áreas).

#### *c) Sistemas de evaluación y contratación*

En la investigación los sistemas actuales de evaluación de la investigación para la contratación se basan fuertemente en la producción de artículos de investigación e incluso en el número de citas. Hemos visto que estos factores difieren entre hombres y mujeres al inicio de su carrera, y no ser consciente de estas diferencias pueden perjudicarles a ellas. Por otra parte, se valora muy positivamente la movilidad y las estancias largas en centros internacionales de prestigio. Hay que tener en cuenta que las mujeres en etapa postdoctoral, alrededor de los 30 años, a menudo limitan su movilidad debido a la maternidad. Finalmente, cualquier evaluación que tenga en cuenta solo un periodo de tiempo de la carrera investigadora (por ejemplo “en los últimos cinco años”), puede perjudicar gravemente a las investigadoras debido a interrupciones de la carrera académica por maternidad o cuidado de mayores.

#### *d) Dificultades en la promoción del profesorado*

El efecto tijera y el techo de cristal para los cargos de mayor categoría profesional resultan ser realidades avaladas con los datos. En algunas universidades se han establecido medidas de acciones positivas, aunque no es una situación generalizada. Partimos de una realidad de desequilibrio de género que requiere medidas para cambiar las sinergias que perpetúan dicha desigualdad.

#### *e) Los estereotipos y la poca visibilidad*

Los estereotipos que mantienen que las mujeres no son aptas para las ciencias, y en especial para las matemáticas, se contradicen con los datos relativos a los grados de Matemáticas en nuestro país (paritarios en lo relativo al género). Sin embargo, debe vigilarse esta evolución ya que esta situación parece que empieza a cambiar en perjuicio de las mujeres.

El salto a la siguiente etapa es más desigual: las mujeres no apuestan como los hombres por hacer un máster en Matemáticas e incorporarse al doctorado. La falta de referentes femeninos que alienten seguir este camino es uno de los factores que puede estar condicionando estas decisiones. Debemos poner de manifiesto que hombres y mujeres no parten de una misma realidad y que, por tanto, hay que fomentar la promoción de mujeres en el ámbito de la investigación matemática con medidas concretas para conseguir la equidad. Esto tiene que ver también con la proporción de mujeres que son invitadas a ser conferenciantes plenarias. A este último respecto, el cambio de esta situación depende en gran parte de la toma de conciencia de la propia comunidad investigadora.

#### **4.5. Propuestas de actuación**

##### *a) No limitar el tiempo de la evaluación (\*)*

Si se evalúa un periodo de años de CV, esto tiene que ir acompañado por una cláusula que tenga en cuenta la interrupción de la carrera investigadora por permisos de maternidad o cuidado familiares, como ya se viene haciendo desde hace años en los proyectos del Consejo Europeo de Investigación (European Research Council, ERC). Los tramos de investigación (sexenios) no tienen en cuenta este factor y esto perjudica gravemente a las mujeres, que no están en las mismas condiciones que los hombres. También habría que tenerlo en cuenta en todas las convocatorias de recursos humanos y en la evaluación del CV de IPs de proyectos.

##### *b) Favorecer las políticas de acciones positivas, al menos a igualdad de condiciones (\*)*

Partimos de una situación de desigualdad que permanece estancada. Para dar un salto cuantitativo es preciso la apuesta decidida por favorecer el acceso a puestos académicos, becas o convocatorias. Al menos en igualdad de condiciones siempre se debería favorecer a una mujer.

En la encuesta, cuando se les pedía a las personas encuestadas que se posicionaran respecto de si: “Las medidas de discriminación positiva de las mujeres son necesarias”, se obtuvieron un total de 677 respuestas (las 64 personas restantes no respondieron), de los cuales un 52,14% se muestra de acuerdo con dicha afirmación. Dentro del grupo de las personas que trabajan en una universidad o centro de investigación, el 45,22% de los hombres y el 61,93% de las mujeres comparten la afirmación. En el mundo de la empresa, solamente un 26,92% de los hombres están de acuerdo con la afirmación mientras que el porcentaje de mujeres que así lo confirma asciende al 62,07%. En el caso de la enseñanza media, los porcentajes de hombres y mujeres que afirman estar de acuerdo están igualados, situándose en una horquilla entre el 50% - 55%.

*c) Hay que tener cautela con cualquier evaluación que tenga en cuenta el número de citas de los artículos o la autoría única*

En estos factores hay un sesgo de género que termina perjudicando la promoción de las mujeres.

*d) No penalizar por no haber hecho suficientes estancias de movilidad en centros extranjeros (\*)*

Las responsabilidades familiares que hoy en día asumen mayoritariamente las mujeres son un impedimento para realizar estas estancias. Mientras esto no cambie, la movilidad de las investigadoras resulta complicada. Los CV no recogen situaciones específicas como estas que deberían ser tenidas en cuenta a la hora de valorar un currículum.

*e) No penalizar por interrupciones justificadas de la carrera académica o por no haber seguido una carrera académica estándar (\*)*

Las mujeres que no pueden seguir la “carrera investigadora *estándar*” deberían tener mayor flexibilidad para adaptar su vida personal a su carrera profesional.

*f) Ser cautelosos con los premios al inicio de la carrera académica (\*)*

En esta primera etapa las mujeres publican menos. Se podrían ampliar los años computados para otorgar estos galardones.

g) *Los comités de selección de profesorado o de personal investigador deberían ser informados y, si es posible, supervisados sobre la malas praxis de “machismo inconsciente” (\*)*

Esto ocurre en países como Francia o Alemania.

h) *Concesión de un semestre dedicado exclusivamente a la investigación (sin docencia) después de cada permiso de maternidad (\*)*

Esta medida ya ha sido adoptada en universidades de Suiza y Dinamarca (ver en referencias UB y en UPC).

Concesión de un semestre dedicado exclusivamente a la investigación (sin docencia) después de cada permiso de maternidad

i) *Adoptar medidas correctoras para atraer mujeres en los inicios de la carrera académica (\*)*

Apostar por acciones positivas en becas predoctorales y postdoctorales.

j) *Potenciar los grupos de investigación paritarios (\*)*

Por ejemplo, incluyendo la paridad como puntuación de la evaluación.

k) *En los grados de Matemáticas, visibilizar el trabajo que hacen las mujeres en el ámbito de la investigación (\*)*

Si queremos promover vocaciones científicas entre nuestras estudiantes de grado es necesario que sea visible el trabajo que realizan nuestras investigadoras. Se trata de que las graduadas incorporen a las posibles salidas profesionales la carrera investigadora como una opción viable.

l) *Las autoridades académicas deben tomar medidas inmediatas ante casos de trato desigual, acoso o abuso hacia las mujeres (\*)*

Pensar que la ciencia es ajena a estos problemas es una gran equivocación. Muchas de estas situaciones quedan ocultas por el miedo y el silencio, pero la ciudadanía debe comprometerse a denunciarlas y las autoridades a tomar medidas que garanticen que estas situaciones no queden impunes.

m) *Exigir para la cofinanciación de congresos con dinero público la participación de mujeres conferenciantes invitadas (\*)*

Proponemos que para cofinanciar un congreso en el ámbito de las matemáticas, se exija que el porcentaje de mujeres del total de conferenciantes plenarios sea, al menos, el 30%. Para establecer esta cifra se ha tomado como referencia la media actual de mujeres que forman parte del área de matemáticas en las plantillas de las universidades públicas.

Hay que tener en cuenta que medidas que actualmente se apliquen por igual a hombres y mujeres pueden tener efectos adversos en la promoción de la carrera académica de las mujeres, véase por ejemplo Antecol, Bedard, Stearns (2016).

Por último, es importante resaltar que en noviembre de 2018 se puso en marcha el Observatorio ‘Mujeres, Ciencia e Innovación’ dependiente del entonces Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades. Su objetivo es “analizar la situación de las mujeres en el ámbito de la investigación y la innovación, fomentar la realización de políticas públicas y actuaciones de igualdad de género, y promover la mejora de la situación de las mujeres en el Sistema Español de Ciencia, Tecnología e Innovación”. Las autoras de este texto creemos que estas sugerencias de actuación, que aquí proponemos, deberían ser remitidas a este observatorio con la petición expresa de que sean tomadas en consideración en sus futuras propuestas de actuación.

## **5. TRATAMIENTO EN MEDIOS DE COMUNICACIÓN Y REDES DE TEMAS RELACIONADOS CON LA IGUALDAD EN LA CIENCIA Y EN PARTICULAR EN LAS MATEMÁTICAS. LA IMPORTANCIA DE QUE LAS MUJERES SE INCORPOREN A LA DIVULGACIÓN MATEMÁTICA**

### **5.1. Planteamiento de los problemas y datos que lo avalan**

En la actualidad, desde cualquier ámbito, se organizan actividades para fomentar vocaciones científicas entre las más jóvenes, para difundir la trascendencia de la ciencia o para hacer visibles a las pioneras; nadie desea quedarse al margen. Aunque en muchos casos se trate de una mera *pose* por parte de instituciones y colectivos, el tema ha saltado a los medios de comunicación, que ejercen un papel fundamental en la consolidación de los estereotipos y pueden cumplir una función determinante en la disminución de los mismos.

No solo es importante escribir artículos sobre científicas pioneras en momentos puntuales o sobre, por ejemplo, “las diez científicas más influyentes en un determinado año”. Es cierto que estos reportajes ayudan a hacer visibles a algunas

de las mujeres que han permanecido ocultas en el ámbito de la CTIM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas), o a señalar algunos logros de las científicas actuales. Sin embargo, la concienciación en este tema no se afianza a través de campañas esporádicas, sino la que triunfa, *la auténtica*, debe ejecutarse todos los días del año. Todo cuenta para llevar a buen término este proyecto: los contenidos elegidos para aparecer en prensa, la manera de redactar las noticias o las personas escogidas como interlocutoras para dar difusión a una noticia de ciencia.

Normalizar la presencia de las mujeres en la actividad científica pasa por hacerlas visibles por medio de entrevistas, reportajes, etc., pero también a través de las prácticas habituales: sería conveniente intentar encontrar más mujeres como interlocutoras. Es cierto que muchas científicas que colaboran de manera voluntaria con los medios se sienten saturadas, ya que, cuando se busca la opinión de una mujer, siempre se recurre a ellas.

Normalizar la presencia de las mujeres en la actividad científica pasa por hacerlas visibles por medio de entrevistas, reportajes, etc., pero también a través de las prácticas cotidianas: sería importante intentar buscar mujeres como interlocutoras

Además de procurar aumentar la presencia de las científicas en la prensa mostrándolas como protagonistas en reportajes, valorándolas como interlocutoras autorizadas, opinando y aclarando noticias de ciencia, es necesario evitar sesgos y vigilar el lenguaje. No olvidemos que emplear el lenguaje de manera no inclusiva consolida los estereotipos. Aludir a “los científicos” o “los especialistas”, puede dar a entender que en esos colectivos los varones son los únicos protagonistas.

*La visibilidad de las científicas españolas* (Fundación Dr. Antoni Esteve) recopila los resultados de un estudio realizado por el Grupo de Estudios Avanzados de Comunicación (GEAC) de la Universidad Rey Juan Carlos, Francescutti (2018). Algunos de ellos se detallan a continuación.

### 5.1.1. Prensa

Este estudio analiza los textos (y las fotografías que los ilustran) sobre ciencia publicados en los diarios *El País* y *La Vanguardia* durante el año 2016. Los datos aportados muestran la reducida proyección pública de las investigadoras.

A continuación se presentan algunos de los datos y conclusiones que se ponen de relieve en este estudio.

Como se observa en la siguiente tabla, solo un 23,5% de las fuentes de las noticias científicas que aparecen en estos dos periódicos en 2016 fueron mujeres.

**Tabla 9: Fuentes de las noticias científicas de El País y la Vanguardia en 2016**

Cabeceras	Fuentes primarias hombres	Fuentes primarias mujeres	Fuentes secundarias hombres	Fuentes secundarias mujeres
<i>El País</i>	411	130	320	116
<i>La Vanguardia</i>	601	159	257	83
Total	1012	289	577	199
	63,6 % del total de fuentes masculinas	59,3 % del total de fuentes femeninas	36,4 % del total de fuentes masculinas	40,7 % del total de fuentes femeninas

Los hombres periodistas de estos dos diarios citan a mujeres como expertas en menor cuantía que las mujeres periodistas.

**Tabla 10: Género de autoría de artículos científicos de El País y la Vanguardia en 2016**

Cabeceras	Autores	Autoras	% Autores/as que citaron a expertas femeninas sobre el total de autores/as	% Autoras que citaron a expertas femeninas sobre el total de autoras
<i>El País</i>	541	211	19,6%	36%
<i>La Vanguardia</i>	547	205	20,29%	32,1%
Total	1088	416	19,9%	34%

En relación con las Matemáticas, solo un 6,5% del total de científicos/as citados/as son mujeres. Este porcentaje disminuye al 4,5% cuando consideramos solo científicas españolas.

**Tabla 11: Porcentaje de científicas citadas en artículos científicos de El País y la Vanguardia en 2016**

Cabeceras temáticas	<i>El País</i>	<i>La Vanguardia</i>	% Científicas citadas	% Científicas españolas citadas
Ciencias de la vida (biología, bioquímica, farmacología)	78	66	29,5%	30%
Ciencias de la mente (psicología, neurociencia)	55	31	17,6%	17,5%
Ciencias de la Salud (medicina, fisioterapia, enfermería, odontología,...)	25	57	16,8%	20,8%
Ciencias de la Tierra (ecología, geología, climatología, paleontología,...)	16	20	7,4%	5,7%
Ciencias exactas (Física y Matemáticas)	9	23	6,5%	4,5%
Arqueología	11	12	4,7%	3,9%
Divulgadoras (solo con formación científica)	13	5	3,7%	5,1%

En este estudio se pone de manifiesto, además, que las mujeres representan el 25,39% de las y los científicos fotografiados, el 21,4% de los científicos y científicas entrevistadas y el 23,8% de los y las aludidas. Es decir, una visibilidad aproximadamente tres veces inferior a la de sus colegas varones. De estos valores se distancia su aparición en los obituarios (algo menos del 6%) y en las noticias sobre reconocimientos y premios (38,4%).

Sin embargo, las científicas españolas disfrutaban de mayor visibilidad en España que sus pares extranjeras (66% de las fuentes femeninas eran de procedencia nacional); incluso superan en porcentaje a sus compatriotas varones (los científicos españoles representaban el 54,2% de las fuentes masculinas).

Respecto a la autoría de artículos científicos en prensa: las autoras constituyen una minoría (escribieron el 27,6% de los textos del conjunto). Las redactoras que eligieron científicas como fuente de información sobrepasaron en porcentaje a sus compañeros varones (34% frente al 19,95%).

Los resultados solo tienen en cuenta las especialidades relacionadas con los temas más noticiosos y que por ello gozan de mayor visibilidad: en primer lugar la biomedicina, seguida de las ciencias de la Tierra y las ciencias exactas y más alejadas la arqueología, la divulgación, la química y las ciencias del espacio; las ingenierías, la informática y las ciencias agrarias. Las especialistas en ciencias de la vida, de las ciencias exactas, del espacio, de la Tierra y química citadas en los diarios suman el 44,4% de las fuentes femeninas, mientras que en el informe *Científicas en cifras* (Ministerio de Economía, Industria y competitividad, 2016) suponen el 27,9% del total, lo que manifiesta una sobrerrepresentación periodística.

### 5.1.2. *Blogosfera*

En el congreso *Spoton London* de 2012, en la sesión titulada *Improving visibility of female scientists online and offline* (ver *Spoton London*, (2012)), se comenta que: “Partiendo de la premisa de que la presencia online es un medio adecuado para realizar el perfil de la ciencia y sus protagonistas, se debatió el hecho de que son muchos más los científicos implicados en blogs y redes sociales que sus colegas femeninas. Se imputó la reticencia de estas a aprovechar los blogs al temor a los *trolls* y al esfuerzo constante que exige la adquisición y la conservación de una audiencia y una reputación digital” (Francescutti, 2018).

En Francescutti (2018) se analiza también la blogosfera, estudiando en algunas plataformas la presencia de investigadoras como colaboradoras activas. Para incluir un blog en este estudio debe estar gestionado totalmente o en una parte sustancial por una científica española; además la ciencia debe representar al más del 50% de sus contenidos; y la plataforma debe haber tenido actividad en los últimos seis meses (con una entrada como mínimo).

Una de las conclusiones de este estudio es que la blogosfera científica femenina en España es muy reducida, al igual que su visibilidad. Las pocas blogueras activas provienen del sistema público de I+D, y la mayor parte de ellas colabora en plataformas con secciones para blogs. El apoyo técnico e institucional que brindan dichas entidades posee gran trascendencia, ya que facilitan el diseño y el mantenimiento del blog y aseguran alguna visibilidad.

Como ya se ha comentado con anterioridad, entre los factores que dificultan el crecimiento de esta pequeña parcela de la blogosfera científica destacan la falta de tiempo y la elevada autoexigencia; circunstancias que favorecen la formación de una brecha digital de género en ese ámbito. En vez del miedo a los *trolls* de las blogueras anglosajonas antes aludido, las españolas temen la crítica de los pares masculinos.

### 5.1.3. Otros formatos (*televisión, radio, podcast, canales de Youtube, redes sociales,...*)

Más allá de los estudios que hemos incluidos en este informe, no se ha encontrado ningún otro relacionado con el tratamiento en igualdad de cuestiones científicas en medios de comunicación y redes sociales (en particular en temas relacionados con las matemáticas). Este hecho no nos permite contrastar con datos las percepciones que se van a señalar a continuación sobre otros formatos que no sean más allá de la prensa y los blogs.

Facebook, Twitter, Instagram, Youtube o cualquier otra red social son una herramienta poderosas para la comunicación. El mensaje que desean transmitir puede tener una mayor difusión y no se precisan grandes despliegues técnicos para incluir la información en estas plataformas. Es claro que, por tanto, puede ser útil en la difusión de la ciencia y en particular de las matemáticas. Sin embargo, también en estos medios se concentran ambientes hostiles y alejados de la curiosidad de aprender y entender. Los y las comunicadoras de la ciencia se ven sometidas a insultos y discusiones hostiles, amparados muchas veces en

el anonimato. En estos casos, la hostilidad hacia las mujeres además suele estar plagada de insultos sexistas. El mundo de la ciencia no puede estar ajeno a estas actuaciones y debería denunciarlas.

Por otro lado, ya algunos canales de Youtube, *podcast* o programas de televisión o radio son hoy un éxito en la difusión de las matemáticas. Sin embargo, mayoritariamente son presentados por hombres.

Existen otros formatos que son más cercanos (divulgación en colegios y centros de secundaria, ferias, conferencias...), pero mucho menos visibles, aunque igual de indispensables y necesarios.

## 5.2. Preguntas a las que dar respuesta

- ¿Por qué la proporción de mujeres divulgadoras de las matemáticas es baja?
- ¿Cómo conseguir que más mujeres se unan a la labor de divulgar las matemáticas?
- ¿Qué herramientas pueden ser útiles para que las y los periodistas recurran a mujeres como expertas en temas relacionados con las matemáticas?
- ¿Qué hacer con los ambientes hostiles en redes sociales contra las mujeres que se dedican a la ciencia?

¿Qué hacer con los ambientes hostiles en redes sociales contra las mujeres que se dedican a la ciencia?

## 5.3. Factores que pueden estar generando estos problemas

### a) Falta de autoestima y miedo a la exposición pública

De nuevo la falta de autoestima y el miedo a la exposición pública pueden ser factores que no animen a las mujeres a incorporarse a las labores de divulgación. Sin embargo, existen muchos formatos diferentes para elegir cómo desarrollar una labor de divulgación.

### b) Falta de referencias femeninas en la búsqueda de expertas científicas

Cuando los y las periodistas buscan personas expertas en temas científicos, sus referencias son normalmente masculinas. El mundo científico tiene que hacer un esfuerzo en facilitarle al periodismo mujeres expertas. Si no se visualiza

que las mujeres podemos ser referencia para hablar de temas científicos, la brecha de género persistirá a pesar de todos los esfuerzos.

El mundo científico tiene que hacer un esfuerzo en facilitarle al periodismo mujeres expertas

*c) La sensación de que la divulgación de la ciencia y, en particular, de las matemáticas tiene un perfil determinado*

La divulgación de la ciencia, como muchas otras actividades, se mueve por modas motivadas por los tipos de canales de comunicación de los que hoy dispone nuestra sociedad. Es posible que muchas mujeres no se encuentren cómodas usando estas herramientas, posiblemente porque la exposición pública es excesiva para ellas.

*d) A muchas mujeres se las llama de medios de comunicación en momentos puntuales para hablar de otras científicas pero no como expertas matemáticas*

Esto es una situación perversa que contamina el esfuerzo que se hace para incorporar a las mujeres al mundo de la divulgación científica y favorece que se siga pensando que la ciencia es cosa de hombres. Es importante hablar de mujeres que se han dedicado a la ciencia y que muchas veces han permanecido ocultas por un relato masculinizado de la historia.

A muchas mujeres se las llama de medios de comunicación en momentos puntuales para hablar de otras científicas pero no como expertas matemáticas

*e) Ambientes hostiles en redes sociales*

Algunos foros asociados a las redes sociales son hostiles con las mujeres. Este hecho hace que muchas de ellas sean reacias a incorporarse a las redes para hacer divulgación.

#### **5.4. Propuestas de actuación**

*a) Promover iniciativas ‘no sin mujeres’ en la divulgación de la ciencia (\*)*

Ya lo han hecho grupos de investigadores (RTVE, 2018). La Asociación Española de Comunicación Científica (AECC) decidió, en mayo de 2018, que solo participaría en eventos que cuenten al menos con un 40% de

mujeres, de acuerdo con una reciente decisión sobre paridad destinada a reforzar la igualdad de género en el ámbito de la comunicación científica (AECC, 2018).

*b) Promover que las mujeres hablen de divulgación científica y no solo de mujeres científicas (\*)*

Algunas investigadoras se quejan (Mesa redonda en <http://www.divulgacioninnovadora.com/>) de que ya solo las llaman para hablar de mujeres científicas en muchos eventos, no para hablar de lo que ellas hacen o de divulgación científica. Esto es perverso, porque con la disculpa de la cuota (o el “no sin...”) se está empezando a colocar a científicas en eventos solo para hablar de mujeres. Aparentemente están, pero no en igualdad. Es importante hablar de mujeres dedicadas a la ciencia, pero la divulgación de la ciencia debe ser cosa de todos y todas. Se debería incentivar que más mujeres se sumen al trabajo de popularizar la matemática. Existen muchas maneras de hacerlo y de transmitir, y por ello se debe convencer a las mujeres de buscar aquella con la que se sientan más cómodas.

Se debería incentivar que más mujeres se tomen el trabajo de divulgar la matemática. Existen muchas maneras de divulgar, de transmitir

*c) Promocionar la inclusión de mujeres matemáticas en bases de datos útiles para que los medios de comunicación identifiquen expertas (\*)*

La Asociación de Mujeres Investigadoras y Tecnólogas (AMIT) ha elaborado con A3Media una base de datos de mujeres científicas que podría servir a los medios de comunicación para buscar referentes, opinadoras, etc. Desde el ámbito de las matemáticas se pueden promover iniciativas de este tipo.

*d) Favorecer estudios que analicen la situación de las mujeres en la divulgación de las matemáticas (\*)*

Existen pocos estudios de este tipo que analicen la actual situación en redes, televisiones, radios, publicaciones de libros de divulgación, ferias,...

*e) Denunciar ambientes sexistas hostiles hacia las mujeres científicas (\*)*

Las mujeres deben sentirse protegidas por la comunidad científica ante este tipo de ataques. Es responsabilidad de la sociedad, y de forma muy especial de su entorno profesional, denunciar estos hechos.

## 6. MUJERES, MATEMÁTICAS Y COOPERACIÓN

### 6.1. Planteamiento de los problemas y datos que lo avalan

Hoy en día, la equidad de género en la educación se utiliza como un indicador de desarrollo. Los factores socioeconómicos y la discriminación de género impiden que niñas y mujeres tengan igualdad de oportunidades para completar una educación de su elección.

Los focos de pobreza condicionan con mayor gravedad las posibilidades de las mujeres al acceso a la educación y, por supuesto, a la investigación. Esos focos de pobreza están localizados no solo en países en desarrollo sino en nuestro propio país. En ambos casos la desigualdad se focaliza en mayor medida en las mujeres a las que muchas veces se relega a un papel de cuidadora de mayores o de hijas e hijos, siendo muy pocas las posibilidades de acceder a una educación y a una formación en igualdad de oportunidades con los hombres. La sociedad tiene que comprender que se está perdiendo la aportación que pueden hacer ellas al conocimiento y a los avances de futuro. Para concienciar de ello es necesario organizar campañas involucrando imágenes y voces de mujeres en una proporción equivalente a los hombres que visualicen el trabajo que ellas pueden hacer en el campo de la Ciencia.

Para concienciar de ello es necesario organizar campañas involucrando imágenes y voces de mujeres en una proporción equivalente a los hombres que visualicen el trabajo que ellas pueden hacer en el campo de la Ciencia

Por otro lado, está claro que la cooperación resulta ser un elemento fundamental en el diseño de la investigación. Es importante crear redes de colaboración que faciliten las sinergias, que aúnen esfuerzos y rompan esta dinámica. En este sentido la comunidad matemática puede apostar por abrir nuevas líneas de actuación que faciliten este camino.

Diversas organizaciones internacionales trabajan para superar estos problemas. En relación con las ciencias existen algunos programas como *Science by Women* de la Fundación Mujeres por África (ver <https://www.mujeresporafrica.es/en/content/science-women>). Gracias a esta iniciativa, cada año diez científicas *sénior* procedentes de países africanos se incorporan durante seis meses a diferentes centros de investigación españoles con sus propios proyectos. Se trata de empoderar a las mujeres investigadoras en África para que desempeñen un papel importante en la transformación de sus países en lo que respecta al conocimiento y la innovación.

El Comité Español de Matemáticas (CEMAT) posee una Comisión de Desarrollo y Cooperación (CDC) cuyo principal objetivo es “promover el conocimiento y la expansión de las matemáticas en los países en vías de desarrollo y en desventaja económica, y favorecer la colaboración a nivel internacional de sus profesionales”. Dentro de las actuaciones, destaca el convenio con el Centro Internacional de Matemáticas Puras y Aplicadas (CIMPA), para llevar a cabo acciones en el ámbito de la cooperación en los países en desarrollo y la investigación en matemáticas puras y disciplinas afines con la celebración de cursos de formación en estos países. La RSME posee un Comité de Cooperación para el Desarrollo con objetivos similares al CEMAT. La Sociedad Matemática Europea (EMS) tiene también su Committee for Developing Countries. En todos los casos se desconocen cuántas mujeres se benefician de estas actuaciones ya que en los informes de las actividades que se realizan no se desagregan los datos por género. Tampoco se ha encontrado un seguimiento del impacto de estas actividades.

## 6.2. Preguntas a las que dar respuesta

- ¿Están ayudando a combatir la desigualdad de género las actividades que se organizan en el ámbito de las matemáticas desde las instituciones de nuestro país dentro de la cooperación al desarrollo?
- ¿Se hace un seguimiento del impacto sobre las mujeres beneficiarias de estas actuaciones?
- ¿Qué tipo de actuaciones relacionadas con la cooperación pueden favorecer la incorporación de las mujeres a la ciencia, en particular a las matemáticas?

¿Qué tipo de actuaciones relacionadas con la cooperación pueden favorecer la incorporación de las mujeres a la ciencia, en particular a las matemáticas?

## 6.3. Factores que pueden estar generando estos problemas

a) *La desigualdad de género es un problema añadido a la desigualdad económica*

Cuando hablamos de desarrollo pensamos en cómo la desigualdad económica genera desigualdad de oportunidades, pero en el caso de las mujeres se añade gravemente la desigualdad de género. Las ayudas que se convoquen deberían tener en cuenta esta problemática.

*b) Los datos de los informes de las actuaciones relacionadas con la cooperación no están desagregados por género*

Esto no nos permite conocer el impacto sobre las mujeres de las actuaciones relacionadas con la ayuda a la cooperación.

La campaña Beijing +20 pretende conseguir, en 2030, un planeta 50-50 lo cual implica capacitar a las mujeres en diferentes ámbitos científicos. Del 4 al 15 de septiembre de 1995 tuvo lugar en Beijing (China) la Cuarta Conferencia Mundial sobre la Mujer, reunión que marcó un punto de inflexión para la agenda mundial de igualdad de género. La Declaración y Plataforma de Acción de Beijing fueron adoptadas de forma unánime por 189 países, y se establecieron una serie de objetivos estratégicos para conseguir la igualdad de género resumidos en doce esferas de especial preocupación:

- La mujer y el medio ambiente.
- La mujer en el ejercicio del poder y la adopción de decisiones.
- La niña.
- La mujer y la economía.
- Los derechos humanos de la mujer.
- Educación y capacitación de la mujer.
- La violencia contra la mujer.
- La mujer y la pobreza.
- Mecanismos institucionales para el adelanto de la mujer.
- La mujer y la salud.
- La mujer y los conflictos armados.
- La mujer y los medios de difusión.

A pesar de los cambios y de las mejoras en los derechos y las vidas de tantas mujeres, veinte años más tarde, ningún país ha conseguido completar este programa. La campaña Beijing +20 desea impulsar la creación de nuevos vínculos y redes, fortalecer la voluntad política y movilizar a la población para conseguir en 2030 un planeta 50-50. Está claro que alguna de estas esferas tiene que ver con la capacitación de las mujeres, en particular en ciencia y matemáticas.

#### **6.4. Propuestas de actuación**

*a) Establecer acuerdos con los países de referencia que permitan a las mujeres de lugares en vías de desarrollo realizar estancias de investigación en España (\*)*

*b) Fomentar la creación de redes de investigación con países en desarrollo, poniendo el énfasis en programas que incidan en la formación académica e investigadora de mujeres*

*c) Impulsar programas de ayuda a la formación matemática de mujeres jóvenes en situaciones de pobreza tanto en el exterior como en España*

También se puede optar por favorecer a mujeres a la hora de solicitar becas para cursos de formación que ya se estén realizando en países en desarrollo.

*d) Apostar por congresos, cursos de máster o doctorado con ponentes femeninas en países en desarrollo (\*)*

Esto permitiría visualizar el trabajo que hacen algunas científicas en diversos países y ayudaría a hombres y mujeres a entender lo importante que es conseguir la incorporación de mujeres a la investigación en matemáticas.

*e) Organizar cursos de orientación educativa en el fomento de las vocaciones científicas dirigidos a las mujeres (\*)*

En colaboración con el país de referencia.

*f) Ayudar en la formación matemática continua sobre la igualdad de niños y niñas para personal docente de países en desarrollo o de lugares con extrema pobreza*

Es necesario romper los estereotipos sobre roles sociales y oficios. No solo hay que ser conscientes de que están ahí. Además, hay que conocer estrategias para erradicarlos.

Es necesario romper los estereotipos sobre roles sociales y oficios

*g) Campañas de divulgación de las matemáticas en países en desarrollo o en entornos especialmente afectados por la pobreza, incidiendo en la visualización del trabajo realizado por mujeres en el progreso de las ciencias (\*)*

*h) Fomento de la investigación matemática aplicada realizada por mujeres y que tenga como objeto de estudio problemas relacionados con la cooperación en países en desarrollo o en zonas con extrema pobreza*

Sería una forma de poner en valor el trabajo que pueden hacer las mujeres matemáticas en estos entornos.

i) *Desagregar los datos de los informes de ayuda a la cooperación por género* (\*)

Si se quiere conocer el alcance de las actuaciones en relación con el género es importante desagregar los datos. En caso de que estas acciones no estén favoreciendo la incorporación de las mujeres se deberían añadir medidas que animen a que las mujeres se sumen a estas actuaciones.

## 7. REFERENCIAS

- Antecol, H., Bedard, K., Stearns, J. 2016, "Equal but Inequitable: Who Benefits from Gender-Neutral Tenure Clock Stopping Policies?". *IZA Institute of Labor Economics DP No. 9904*, disponible en <http://ftp.iza.org/dp9904.pdf>.
- Boring, A. Ottoboni, K., Stark, P.B., 2016, "Student evaluations of teaching (mostly) do not measure teaching effectiveness". *ScienceOpen Research*.
- EACC, 2018, Compromiso de la EACC sobre su participación en eventos científicos paritarios <https://www.aecomunicacioncientifica.org/la-aecc-solo-participara-en-eventos-paritarios/>
- EGMO, 2017, "Some statistics for girls at IMO 2017", disponible en <http://www.egmo2018.org/blog/some-statistics-for-girls-at-imo-2017/>.
- Ernest, P., 1993, "The popular image of Mathematics", *Humanistic Mathematics Network Journal*, Vol. 8. pp. 53-55.
- Fundación Mujeres por África, Science by Women <https://www.mujeresporafrica.es/en/content/science-women>.
- Francescutti, P, 2018, "La visibilidad de las científicas españolas", *Cuadernos 44, Fundación Dr. Antoni Esteve*.  
[https://www.esteve.org/wp-content/uploads/2018/07/CUADERNO\\_ESTEVE\\_44\\_web.pdf](https://www.esteve.org/wp-content/uploads/2018/07/CUADERNO_ESTEVE_44_web.pdf).
- International Mathematical Olympiad disponible en <http://www.imo-official.org/>
- Mihaljević-Brandt, H., Santamaría, L, Tullney, M, 2016, "The Effect of Gender in the Publication Patterns in Mathematics", *PLOS ONE* Vol. 11(10).
- Ministerio de Economía, Industria y competitividad, 2016 "Científicas en cifras 2015. Estadísticas e indicadores de la (des)igualdad de género en la formación y profesión científica", disponible en [http://www.ciencia.gob.es/stfls/MICINN/Ministerio/FICHEROS/Informe\\_Cientificas\\_en\\_Cifras\\_2015\\_con\\_Anexo.pdf](http://www.ciencia.gob.es/stfls/MICINN/Ministerio/FICHEROS/Informe_Cientificas_en_Cifras_2015_con_Anexo.pdf).

- Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 2016 Datos y Cifras del sistema universitario español, curso 2015-16., <https://sede.educacion.gob.es/publivena/d/21461/19/1>.
- Ministerio de Educación y Formación Profesional, 2019, “Igualdad en Cifras”, disponible file:///Users/edithpadron/Downloads/19415.pdf.
- C.A. Moss-Racusin. C.A., 2012, “Science faculty’s subtle gender biases favor male students”, *PNAS* 109, 16474-16479.
- OECD, 2015, informes correspondientes a PISA2012, ISBN 978-92-64-22994-5, disponible en [https://www.oecd-ilibrary.org/education/the-abc-of-gender-equality-in-education\\_9789264229945-en](https://www.oecd-ilibrary.org/education/the-abc-of-gender-equality-in-education_9789264229945-en).
- Olimpiada Matemática Española. Disponible en [http://www.olimpiadamatematica.es/platea.pntic.mec.es/\\_csanchez/olimmain.html](http://www.olimpiadamatematica.es/platea.pntic.mec.es/_csanchez/olimmain.html).
- RTVE, 2018. Más de 50 economistas y académicos se comprometen a no participar en eventos sin mujeres <http://www.rtve/noticias/20180516/mas-50-economistas-academicos-se-comprometen-no-participar-eventos-sin-mujeres/1734282.shtml>.
- SIIU Sistema Integrado de Información Universitaria, Ministerio de Educación y Formación Profesional <http://www.educacionyfp.gob.es/servicios-al-ciudadano/estadisticas/universitaria/siiu.html>.
- SpotOn London 2012: Women in science -- Improving visibility of female scientists online and offline <https://youtu.be/TcO5aINrUGI>.
- Souchal, C., Toczek, M.C., Darnon, C., Smeding, A., Butera, F., Martinot, D., 2014, “Assessing does not mean threatening: the purpose of assessment as a key determinant of girls’ and boys’ performance in a science class”, *J Educ Psychol.* Vol 84, 125-136.
- Topaz, Ch. M., Sen, S, 2016, “Gender Representation on Journal Editorial Boards in the Mathematical Sciences”, *PLOS ONE* 11(8), disponible en <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0161357>.
- UB University of Basel <https://www.unibas.ch/en/Research/Financing/Postdoc/stay-on-track.html>.
- UPC Universitat Politècnica de Catalunya, 2019, Programa d’exempcions docents per a la intensificació en la recerca després d’un permís maternal.

# DIVULGACIÓN DE LAS MATEMÁTICAS

Raúl Ibáñez Torres (Coordinador)<sup>1</sup>, Pedro Alegría Ezquerra<sup>1</sup>, Fernando Blasco Contreras<sup>2</sup>, Antonio Pérez Sanz<sup>3</sup>, Ágata Timón García-Longoria<sup>4</sup>

1: Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea

2: Universidad Politécnica de Madrid

3: IES Salvador Dalí, jubilado

4: Instituto de Ciencias Matemáticas, CSIC

## 1. DIVULGACIÓN MATEMÁTICA EN ESPAÑA DESDE EL 2000 HASTA EL 2019

### 1.1. Introducción

La divulgación de las matemáticas y, en general, la divulgación científica, es una actividad muy reciente en España, contrariamente a lo que ocurre con otros países de su entorno como, por ejemplo, Francia, Italia, Alemania, Reino Unido o Hungría. La cuestión de la divulgación viene condicionada por la reciente creación de una comunidad científica: a diferencia de estos países, España cuenta con una tradición muy joven en investigación científica y matemática; durante siglos, su relación con la ciencia quedó resumida en la famosa frase de Miguel de Unamuno “que inventen ellos”.

En estos países, con una profunda tradición científica, la preocupación por transmitir la importancia que la ciencia tiene para la sociedad y explicar los avances científicos a la misma ha estado presente desde hace varios siglos. Por ejemplo, en Reino Unido la persona elegida cada año para presidir la British Association for the Advancement of Science (fundada en 1831), que siempre era uno de los grandes científicos del momento, tenía la obligación de impartir una conferencia científica para el público general. Por su parte, existen instituciones como el Gresham College de Londres (fundado en 1597), que no tiene estudiantes, ni grados, y su único objetivo es organizar conferencias para el público general, estando sus cátedras ocupadas por personal científico relevante de otras universidades británicas.

En España, la divulgación científica es mucho más reciente y, sin lugar a dudas, la más tardía de todas las disciplinas en iniciarse en esta tarea ha sido la ciencia de Pitágoras. Prácticamente hay que esperar a finales del siglo XX para poder hablar de un desarrollo significativo de la misma.

Sin embargo, durante los últimos veinte años se han realizado grandes esfuerzos para poner en marcha una gran cantidad de eventos y actividades divulgativas a lo largo de todo el territorio español, que han sido, además, organizados con seriedad y calidad. La imagen, a priori negativa, que la sociedad tenía de las matemáticas, así como la dificultad de un lenguaje diferente y abstracto que bloqueaba el acercamiento de muchas personas, se compensó con imaginación, ilusión, conocimiento y mucho trabajo, dando lugar, en poco tiempo, a un gran avance en la divulgación de las matemáticas.

La emergente comunidad de personas que se iniciaron en la labor de divulgación de las matemáticas tenía como objetivo que las matemáticas se entendieran, y se sigan entendiendo a día de hoy, como parte de la cultura, accesibles a todo el mundo, independientemente de la edad, el sexo, la situación social o económica, la ubicación física, el nivel de estudios o cualquier otro elemento diferenciador que se pueda considerar. La cultura matemática debía ser un bien social y universal.

La cultura matemática es un bien social y universal

En una buena parte de este periodo de tiempo, la divulgación, tanto su organización, como su realización, la desarrollaron fundamentalmente profesores y profesoras de Matemáticas de forma no profesional, altruista y con un profundo conocimiento de las matemáticas, que venía de su experiencia docente e investigadora.

Gracias a todas estas personas la situación de la divulgación matemática, hoy en día, es completamente diferente de cómo era hace veinticinco años. La evolución ha sido magnífica y la situación actual es muy positiva, pero tras este estadio inicial se hace necesario mirar hacia atrás, conocer el recorrido realizado y aprender del mismo para seguir progresando. Este es el primer objetivo de este capítulo del Libro Blanco.

En nuestra retrospectiva consideraremos como punto de partida el Año Mundial de las Matemáticas 2000 (AMM2000), proclamado por la Unión Ma-

temática Internacional en 1992 y apoyado por la UNESCO en 1997, que fue un punto de inflexión en la divulgación y comunicación de las matemáticas en España. Antes del AMM2000 casi no existía divulgación matemática y, consecuentemente, la presencia de esta ciencia en los medios de comunicación, el mundo editorial, internet, los centros expositivos y culturales, o dentro de las actividades sociales y culturales de ayuntamientos, administraciones y fundaciones, era casi nula, salvo excepciones aisladas, algunas de mucha calidad y relevancia, que consiguieron dar los primeros pasos en el camino.

Esta divulgación de las matemáticas en España previa al AMM2000 estuvo muy relacionada con la educación de las matemáticas, fundamentalmente no universitaria (educación primaria y secundaria), y con las sociedades de profesorado de Matemáticas y los centros de formación del profesorado. Tanto la Federación Española de Sociedades de Profesores de Matemáticas, como los centros de formación del profesorado, fueron creados en la década de 1980. Incluso unas décadas atrás, a partir de 1964, surgieron las primeras olimpiadas matemáticas, organizadas por la Real Sociedad Matemática Española (RSME). Fueron las primeras olimpiadas científicas, mucho antes que la de física, que empezó a realizarse en 1989.

La universidad y el mundo de la investigación matemática se empezaron a implicar tímidamente en la labor de comunicación social de las matemáticas a raíz del AMM2000. En dichos ámbitos, la divulgación fue valorada de forma negativa: como una actividad menor, innecesaria y una pérdida de tiempo. La visión general era que los matemáticos y las matemáticas deberían dedicar su tiempo a investigar, que es lo importante, y no a divulgar. Salvo que no sirvieran para la investigación matemática, entonces podrían dedicar algo de su tiempo a esas *cosas menores*, sin importancia, que cualquiera puede hacer.

En el Año Mundial de las Matemáticas 2000, gran parte de la comunidad matemática se volcó en la organización de actividades culturales y se inició la colaboración con los medios de comunicación. Aquel fue el inicio de un camino importante, ya que muchas de las personas que se implicaron en este evento internacional siguieron trabajando posteriormente en la organización de actividades de divulgación matemática.

El Año Mundial de las Matemáticas 2000 fue un punto de inflexión en la divulgación y comunicación de las matemáticas

En el año 2003, la RSME, que había sido refundada en el año 1996, aprobó la creación de la Comisión de Divulgación de la RSME, que recogía la necesidad de continuar con la labor divulgativa tras el AMM2000, y más aún, de intentar desarrollar un programa estable nacional de divulgación de las matemáticas. Esta comisión se formó con docentes de educación primaria, secundaria y universitaria de diferentes autonomías y de diversas áreas de las matemáticas, y se desarrolló en colaboración con otras sociedades matemáticas y sociedades de profesorado de Matemáticas, trabajando con toda la comunidad matemática, pero también con profesionales de la educación, periodistas, artistas, agentes culturales y sociales, etcétera. Entre los objetivos planteados estaban: desarrollar la cultura matemática de nuestra sociedad, acabar con el tópico de la confrontación entre ciencias y letras, mejorar las actitudes de la población hacia las matemáticas, compartir su belleza, animar a las personas a ser matemáticamente activas, mostrar las matemáticas que existen en nuestro entorno, aprendiendo a mirar con ojos matemáticos, estimular el desarrollo de la actividad matemática y divulgar la investigación que se desarrolla en España.

Un año después, en 2004, se puso en marcha DivulgaMAT (Centro Virtual de Divulgación de las Matemáticas de la RSME), y se organizó un programa de actividades divulgativas (ciclos de conferencias, concursos literarios, exposiciones, publicaciones, actividades en centros educativos, colaboración con eventos matemáticos, como el International Congress of Mathematicians, ICM2006, etcétera). Más aún, por primera vez, se realizó una reflexión profunda sobre la divulgación de las matemáticas en España, en las Jornadas sobre la popularización de la ciencia: matemáticas, que se organizaron para tal fin los días 18 y 19 de noviembre de 2004, en Donostia/San Sebastián. Entre otras conclusiones, se destacó la necesidad de disponer de gabinetes de prensa especializados para difundir las noticias de la comunidad matemática; y así se hizo, desde entonces, en todos los grandes eventos matemáticos organizados.

En el año 2006 se celebró en España (Madrid) el International Congress of Mathematicians, ICM2006, que volvió a poner las matemáticas en el punto de mira de la sociedad española e internacional, aumentando el interés de la misma por esta ciencia. Aquel fue un nuevo impulso de la divulgación matemática. Por un lado, dentro del programa general del ICM2006, se organizó un potente programa de actividades divulgativas. Además, se creó un gabinete de prensa específico para este evento, en el que estuvieron trabajando periodistas y personas del ámbito de las matemáticas de manera continuada, y que supuso un primer

contacto formal con los medios de comunicación, que dieron una amplia cobertura al encuentro.

Otro evento significativo para la divulgación de las matemáticas en estos últimos años fue la celebración del Centenario de la Real Sociedad Matemática Española en el año 2011 que, de nuevo, contó con un amplio programa de actividades dirigidas a la sociedad española y un gabinete de prensa. Podemos destacar los vídeos de *Desafíos Matemáticos* publicados en la web de *El País*, que tuvieron una enorme repercusión, y la exhibición de la exposición matemática “RSME-Imaginary”, que ha recorrido más de 20 ciudades de España desde entonces.

La colaboración y el trabajo en equipo, tanto de personas como de departamentos, facultades, centros de investigación y de enseñanza y otras instituciones, fueron dos de las claves del éxito y desarrollo producido durante estos años. De hecho, las sociedades matemáticas, como la Federación Española de Sociedades de Profesores de Matemáticas, la Real Sociedad Matemática Española, la Sociedad Española de Matemática Aplicada, la Sociedad Española de Investigación Operativa, la Sociedad Catalana de Matemáticas o la Sociedad Española de Investigación en Educación Matemática, colaboraron en muchas actividades divulgativas.

Durante estos primeros años, la divulgación matemática se realizó exclusivamente por personal docente e investigador, al margen de la divulgación científica general. Ni periodistas, ni profesionales de la divulgación científica o museos de la ciencia se implicaron en la misma, salvo contadas excepciones, como puedan ser el programa Ciencia en Acción o algunas actividades de Cosmocaixa. Pocos periodistas y divulgadores y divulgadoras de la ciencia en general se atrevieron a abordar temas matemáticos en su trabajo, aunque esta situación ha ido cambiando en los últimos años, en los que las matemáticas ya han encontrado su lugar dentro del periodismo y la divulgación científica. También han aparecido profesionales que se dedican en exclusiva a la comunicación en algunas instituciones matemáticas. Por ejemplo, en 2012, el ICMAT puso en marcha un plan de comunicación integral, con una persona contratada para desarrollarlo. Unos años después, el BCAM, el IMUS y la Escuela de Doctorado de Barcelona hicieron lo mismo.

Sin duda, la comunicación social y la divulgación de las matemáticas, y de la ciencia, es una labor colectiva, y la colaboración entre personal investigador, sociedades científicas, centros de educación e investigación, periodistas, medios

de comunicación, agentes y centros culturales o administraciones es completamente necesaria y enriquecedora. Por suerte, esto está siendo, a día de hoy, una realidad. Prueba de ello es la creación de la Red de Divulgación Matemática, DiMa, un intento de organizar el colectivo de personas dedicadas a estas actividades en el país, coordinada por la profesora de la Universidad de La Laguna, Edith Padrón, que en mayo de 2018 publicó su manifiesto fundacional. Este es un hecho destacado, que podría significar un nuevo punto de inflexión en la divulgación de las matemáticas en España.

La comunicación social y la divulgación de las matemáticas es una labor colectiva, y la colaboración entre personal investigador, sociedades científicas, centros de educación e investigación, periodistas, medios de comunicación, agentes y centros culturales o administraciones es completamente necesaria y enriquecedora

Gracias a todos estos esfuerzos, la labor divulgativa ha empezado a valorarse a diferentes niveles. El reconocimiento ha venido por parte del público, que ha mostrado su interés consumiendo contenidos de divulgación, e incluso demandando más, pero también por parte de los ministerios correspondientes, departamentos autonómicos de Educación, Ciencia y Tecnología, los medios de comunicación o las editoriales, entre otros. Pese a ello, el reconocimiento se queda en muchos casos en bonitas palabras, pero no se traduce en méritos o distinciones dentro de la carrera académica.

Por otro lado, la divulgación de las matemáticas era, y es, diversa y abierta. Todas las herramientas y todos los medios, bien utilizados, eran, y son, válidos para divulgar, pero más aún, son también necesarios. En los últimos años se han incorporado dos formatos novedosos en la divulgación: las redes sociales y los monólogos científicos. Los monólogos científicos no son más que una revisión moderna del concepto de charla científica, al que se le ha añadido, en algunos casos, una dosis de humor. Pero también presentan diferencias: mientras que en la primera se trataba de comunicar en profundidad un tema de la cultura científica, proporcionando un mayor conocimiento al público sobre ese tema en cuestión, los monólogos científicos ofrecen pequeñas píldoras científicas que despierten el interés del público en una colección diversa de temas. Aunque este formato puede ser muy efectivo, se corre el peligro de convertir el humor en el contenido central y la ciencia en algo accesorio, en vez de ser el humor una herramienta de comunicación de la ciencia.

Por su parte, las redes sociales han constituido toda una revolución social en la última década y la divulgación científica, con ella también la matemática, se ha sumado a la misma. Las redes sociales han proporcionado plataformas de difusión (Twitter, Facebook, Instagram, YouTube, etcétera) y también nuevos formatos de comunicación social (blogs, vídeos, *podcasts*, etcétera). Aunque también han traído consigo la obsesión por las y los seguidores, la filosofía de los “likes”, el anteponer la popularidad por encima del contenido o la promoción personal por delante de la calidad divulgativa.

Uno de los peligros presentes de la divulgación es poner la popularidad por encima del contenido o la promoción personal por delante de la calidad divulgativa

Posiblemente esta incursión de la divulgación de las matemáticas en las lógicas de las redes sociales (y los medios de comunicación) hace que, en algunos casos, prime la reputación, la obtención de visitas o visionados, etc., respecto a los objetivos de fomento de la cultura científica. Efectivamente, en los últimos tiempos la popularidad y la promoción personal se han convertido en el motor de gran parte de la comunicación pública, también en la ciencia. Sin embargo, una de las claves del éxito de la divulgación de estos últimos veinte años ha sido el trabajo desempeñado por quienes se han dedicado a ella. Su enfoque de la divulgación no buscaba, como objetivo principal, tener éxito ante el público, sino que este éxito fuese una consecuencia del trabajo bien hecho. Tampoco divulgaban para la promoción de la persona, o colectivo de personas, que realizaban dicha labor. Partían de una reflexión previa sobre lo que se quería obtener con la divulgación, existía una filosofía, un objetivo social y cultural y un trabajo al que se le dedicaba el tiempo necesario. Estas son cuestiones que, por desgracia, están cambiando en parte en los últimos tiempos.

## 1.2. FORMATOS DE DIVULGACIÓN

A continuación, se hará un recorrido por diferentes formas de divulgación de las matemáticas que han sido especialmente relevantes en los últimos 25 años. Cabe subrayar que no se trata de un catálogo exhaustivo de todas las actividades de divulgación realizadas en España, sino un análisis crítico de la evolución general de la divulgación en diversos formatos, en el que se incorporan algunas experiencias como ejemplos de los hitos alcanzados.

### 1.2.1. Conferencias

Las conferencias divulgativas son una herramienta clásica en la divulgación científica, que ha estado muy presente en todos los países del mundo con tradición en la comunicación social de la ciencia. Su introducción en España fue mucho más tardía, debido a que tanto la investigación matemática, como la propia divulgación de esta ciencia han sido actividades muy recientes en este país. Aun así, cuando la divulgación de las matemáticas empezó a dar sus primeros pasos en España, esta fue una de sus primeras herramientas.

Las conferencias que se organizaban antes del Año Mundial de las Matemáticas 2000 (AMM2000), que no eran muchas, solían estar, en su mayoría, relacionadas con la educación matemática o desarrollarse en contextos relacionados con esta, como congresos de educación y aprendizaje de las matemáticas, cursos de formación del profesorado o actividades para el alumnado.

Con motivo del AMM2000 se organizaron varios ciclos en entornos educativos, pero también para el público general, siendo la herramienta más utilizada para llegar a la sociedad, junto con una tímida presencia en los medios de comunicación (principalmente, radio y prensa escrita). Además, la universidad se implicó en la organización de estos ciclos, así como de todo el evento internacional, iniciando su interés en la comunicación social de las matemáticas.

Las conferencias divulgativas fueron una de las primeras herramientas de la divulgación de las matemáticas en España

Tras el AMM2000 se empezaron a organizar más conferencias divulgativas abiertas a toda la sociedad. Muchas eran eventos puntuales, pero también se empezó a apostar por la organización de ciclos de conferencias estables, con la pretensión de que perduraran en el tiempo.

Aunque ya se venían organizando conferencias para estudiantes de secundaria (en centros escolares) y profesorado (centros de formación del profesorado y sociedades de profesorado de Matemáticas), cada vez se fue tomando más conciencia de la importancia de la divulgación en el contexto educativo, y se produjo un importante incremento, tanto en cantidad, como en calidad. Hoy en día, muchos centros educativos, escuelas e institutos, han incluido dentro de su planificación de cada curso las conferencias divulgativas de ciencia, incluyendo a las matemáticas.

Otras conferencias divulgativas relacionadas con la educación que también han proliferado son las vinculadas a las Olimpiadas Matemáticas. Aunque el público sea poco numeroso, la importancia de estas charlas es notable pues, unido al fomento de la vocación por las matemáticas y al estímulo del talento matemático, se prepara a las nuevas generaciones de científicos y científicas en el aprecio por la cultura matemática.

En las universidades también se tomó conciencia de la necesidad de divulgar para los estudiantes de Matemáticas, de ciencias o de toda la universidad, e incluso para el profesorado. Algunos ejemplos: en los años 1998/2012 se organizó el ciclo *Un paseo por la geometría*, en la Facultad de Ciencias de la Universidad del País Vasco, diez conferencias anuales de matemáticas que se recogían en una publicación final; en las Universidades de La Laguna y Las Palmas de Gran Canaria se desarrolló, durante los años 2003/2006, el ciclo *Sociedad, Ciencia, Tecnología y Sociedad*; esos mismos años, en la Universidad de Santiago de Compostela tuvo lugar el ciclo *Una Andaina pola matemática*; la Universidad de Cantabria organiza, desde el año 2004, el ciclo *Matemáticas en Acción*; la Universidad de Sevilla inició, en 2012, el ciclo *La ciencia desde el ojo matemático*; aunque quizás el más antiguo sea el *Curso de actualización matemática* de la Universidad de La Rioja, con más de 25 años de historia.

Dentro de la organización de actividades de divulgación matemática desarrolladas desde la universidad, las conferencias aparecieron también en dos nuevos ámbitos: los cursos de verano universitarios, abiertos a la sociedad y las Aulas de la Experiencia. Se empezaron a organizar cursos de verano de cultura matemática en muchas universidades como por ejemplo, los cursos de verano *Arte y Matemáticas*, de la UNED (2001-2010), *Matemáticas y Arte*, de la Universidad Complutense de Madrid (2007), *Matemáticas, arte y diseño*, de la Universidad de la Rioja (2009), *Cultura con M de matemáticas, una visión matemática del arte y la cultura*, de la Universidad del País Vasco (desde 2010), *Las matemáticas en el arte, el arte en las matemáticas*, del ICMAT y la Universidad Complutense de Madrid (2014), entre otros.

Por su parte, en los cursos de las Aulas de la Experiencia de las Universidades, grados para personas jubiladas (mayores de 55 años), se colaron también cursos y conferencias de cultura matemática. Por ejemplo, el curso *Las matemáticas en la vida cotidiana: sociedad y cultura*, de la Universidad del País Vasco, el curso *Matemáticas: cotidianidad y belleza*, de la Universidad de Sevilla, la asignatura

*Las matemáticas en la cultura y en la vida cotidiana*, de la Universidad de La Rioja, o *Las matemáticas de la vida cotidiana*, del Programa interuniversitario de la experiencia de la Junta de Castilla y León.

Las Academias de Ciencias, como la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, o Jakiunde, Academia de las Ciencias, de las Artes y de las Letras, del País Vasco, entre otras, también tomaron conciencia de la necesidad de divulgar, a las personas más jóvenes y al público general, y empezaron a organizar ciclos de ciencia, y las matemáticas forman parte de los mismos.

La organización de ciclos de conferencias estables en bibliotecas, museos y centros culturales de pueblos y ciudades ha sido cada vez mayor. Por citar unos pocos ejemplos, desde el año 2004 el Ayuntamiento de Bilbao, la Universidad del País Vasco y la Real Sociedad Matemática Española organizan el ciclo *Las matemáticas en la vida cotidiana*, en la Biblioteca de Bidebarrieta (Bilbao); el Instituto de Ciencias Matemáticas (ICMAT), de Madrid, organiza desde 2009 en la Residencia de Estudiantes el ciclo *Las matemáticas en la Residencia*; desde 2017, la Universidad Autónoma de Madrid organiza en el Centro Cultural La Corrala el ciclo *Matemáticas en La Corrala* o desde 2017, la RSME organiza un ciclo de conferencias en la Fundación Ramón Areces.

Incluso los ayuntamientos empezaron a incluir las matemáticas dentro de sus cursos, o ciclos de conferencias, dirigidos a los habitantes de sus pueblos y ciudades. Por ejemplo, el curso *Las matemáticas en la vida cotidiana: sociedad y cultura*, dentro de los cursos *Humanities* del Ayuntamiento de Durango (Bizkaia) (2009/2013). O los ciclos anuales de conferencias científicas *Urtarrila matematikaren bila* de la sociedad Lemniskata de Beasain, desde 2012.

En la organización de estos ciclos de conferencias se busca que el público sea lo más heterogéneo posible, con un rango de edad amplio, desde estudiantes de educación secundaria a personas que ya están jubiladas, con intereses culturales y formaciones académicas diversas, sin la necesidad de una formación matemática previa o incluso personas con una imagen, hasta ese momento, negativa de las matemáticas. Estos ciclos han tenido, y tienen, un importante éxito de público, y siguen siendo, a día de hoy, una herramienta fundamental en la divulgación de las matemáticas.

Una de las cuestiones que sorprende, con el paso del tiempo, es el enorme éxito que tuvo esta primera herramienta divulgativa, las conferencias. El motivo podemos encontrarlo en las respuestas a las preguntas quiénes, qué y cómo.

En relación a quiénes han impartido estas conferencias divulgativas, al principio muy pocas personas se implicaron en esa importante tarea, pero poco a poco algunos profesores y profesoras de Matemáticas se empezaron a animar a hablar al público general de diferentes cuestiones relacionadas con la investigación y la cultura matemáticas. Pronto empezó a surgir un colectivo de personas que no solo asumieron la tarea de preparar charlas, sino que se implicaron en la organización de las mismas, así como en muchas otras labores de divulgación. El conocimiento, la ilusión y las ganas de superar las reticencias sociales hacia las matemáticas fueron no solo herramientas para superar la falta de experiencia, sino la razón de la calidad de las charlas matemáticas. Así mismo, una de las tareas, esos primeros años, de quienes empezaron a organizar ciclos de conferencias fue la de animar a investigadores e investigadoras del ámbito de las matemáticas, o cercanas a este, a impartir puntualmente alguna conferencia para el público general sobre sus temas de investigación. Divulgar era una tarea, en primer lugar, de toda la comunidad matemática, y no solo de unos pocos. Por otra parte, hasta hace pocos años los divulgadores y divulgadoras de la ciencia en general, que ya estaban realizando una importante labor en la comunicación social de la misma en España, no se animaron a incluir las matemáticas, o algún aspecto de ellas, dentro de los temas que abordaban en sus conferencias.

La variedad de temas abordados en las diferentes conferencias fue otra de las claves del éxito. Se han tratado temas que van desde las propias matemáticas, sus conceptos y resultados, hasta la relación de las mismas con el arte y la cultura, pasando por la matemática recreativa, las aplicaciones de esta ciencia a la sociedad, su presencia en la vida cotidiana o la propia historia de las matemáticas.

Surgió un colectivo de personas que asumieron la tarea de organizar e impartir conferencias

Esta era una actividad nueva en España y las personas que se implicaron en la misma empezaron desde cero, pero quizás eso fue lo que hizo que tomaran conciencia de la importancia de preparar conferencias de calidad, no solo en el contenido, sino también en las formas. Fue importante tomar conciencia de que había que adaptar las charlas al público, haciéndolas interesantes, amenas y comprensibles, sin caer en el simple entretenimiento y sin perder el objetivo principal, la divulgación de la cultura matemática. Se mostró una ciencia cercana a la sociedad, que estaba en todos los aspectos de la vida y que había estado

presente desde los inicios de la cultura humana, y que, además, era accesible a todo el mundo.

Al popular formato de las conferencias se suman, desde hace unos años, los llamados monólogos científicos. Mientras que, en las conferencias científicas divulgativas, cuya duración estándar suele ser de aproximadamente una hora, se explica con una cierta profundidad un tema científico, los monólogos de ciencia son pequeñas charlas divulgativas de entre diez y veinte minutos, que suelen estar agrupadas en paquetes de monólogos, tocando varias ciencias en conjunto. Estas pequeñas píldoras tienen como objetivo despertar el interés del público por la ciencia. Las matemáticas forman ya parte, de forma natural y desde sus orígenes, de estos monólogos científicos.

Entre los ciclos estables en España de monólogos científicos el más conocido y relevante es Naukas (cuya plataforma de blogs de divulgación científica fue creada en 2010), que en su sede clásica de Bilbao (desde 2011) consta de dos jornadas que suman más de 40 monólogos científicos que abordan todas las ciencias. En la actualidad, se celebran ciclos Naukas en diferentes ciudades del territorio español.

En España, contrariamente a lo que ocurre en Europa, ha cogido mucha fuerza la vertiente de “monólogos científicos con humor”, una mezcla de monólogos de ciencia y el club de la comedia. El origen fue el concurso de monólogos científicos Famelab en España, organizado por la FECYT a partir de 2013. La idea fundamental de este modelo de divulgación es sacar la ciencia de sus espacios habituales y llevarla a un entorno más informal: desde bares donde se hacen monólogos a pequeña escala, hasta teatros en los que se agotan las entradas de grandes galas de monólogos. Cabe destacar que algunos de los ganadores y ganadoras del certamen Famelab han sido matemáticos, como el vencedor de la primera edición, el matemático de la Universidad de La Rioja, Eduardo Sáenz de Cabezón.

Ahora es frecuente ver grupos de monologuistas científicos como Big Van Monólogos sobre Ruedas (constituido fundamentalmente por participantes en la primera edición de Famelab) o Risarchers, un grupo de científicos y científicas y profesorado de Zaragoza. También se han puesto en marcha iniciativas parecidas en esta línea, como “Tu tesis en 3 minutos” en diferentes universidades españolas.

El humor también es una importante herramienta divulgativa, aunque en ocasiones se corre el peligro de convertir al humor en el objetivo prioritario y a la ciencia en un elemento secundario

Aunque lo habitual es que en una actividad de monólogos científicos se aborden varias ciencias, también se están organizando ciclos de monólogos más temáticos. Por ejemplo, con motivo del Día de Pi, el 14 de marzo, las actividades de la Real Sociedad Matemática Española dentro del programa *PiDay*, la *jornada BCAM Naukas en el día de pi*, organizada por la Cátedra de Cultura Científica de la UPV/EHU, BCAM y Naukas, o el ciclo Un Fisquito de Matemáticas, organizado por Edith Padrón en la Universidad de La Laguna.

El humor también es, por supuesto, una importante herramienta divulgativa, aunque en ocasiones se puede confundir el objetivo, y convertir al humor, y al éxito con el público mediante el mismo, en el objetivo prioritario y a la ciencia en un elemento secundario, que acompaña al humor.

Merecen mención aparte los eventos TED (Technology, Entertainment and Design), que comenzaron en 1984 en EE. UU. pero se han ido popularizando como TEDx, encuentros con la misma estructura pero organizados independientemente. Estos eventos cuentan con charlas de una duración máxima de 18 minutos y proyección de vídeos de charlas de otros encuentros. Este formato es muy interesante puesto que combina la presentación de ideas en directo con una amplia colección de vídeos. Además, crea una red real de difusión con numerosas conexiones entre unos eventos y otros, tanto en su parte virtual como en la real. En esta plataforma sería interesante una mayor inclusión de temas matemáticos.

Otras actividades, como la noche de los investigadores, las semanas de la ciencia y la tecnología o *Pint of science*, compaginan conferencias más clásicas y monólogos científicos. De hecho, la organización de charlas de ciencia en los bares cada vez está siendo más habitual. Una variante es el *Chocolate matemático* que organiza Elena Vázquez Aval, en Santiago de Compostela.

### 1.2.2. Libros y revistas

Uno de los campos donde se ha notado claramente el despertar de la divulgación de las matemáticas y el interés de la sociedad por esta ciencia, tras el Año Mundial de las Matemáticas 2000, es el del mundo editorial. Antes del AMM2000 se publicaban muy pocos libros relacionados con la divulgación de las matemáticas. La mayoría eran de problemas de ingenio (como la colección de libros de retos matemáticos de la editorial Gedisa y los libros del divulgador Martin Gardner), textos relacionados con la historia y el pensamiento matemá-

tico (como *¿Qué son y para qué sirven los números?*, de Richard Dedekind, o *Historia Universal de las Cifras*, de Georges Ifrah), o en conexión con la educación matemática (como la colección *Matemáticas, cultura y aprendizaje* de la editorial Síntesis), con algunas excepciones de libros “puramente” divulgativos (*El hombre anumérico*, de John Allen Paulos, *El Universo de las Matemáticas*, de William Dunham, o *Matemáticas e imaginación*, de Edward Kasner y James Newman). Prácticamente todos los libros publicados, salvo los relacionados con la educación, eran traducciones de autores extranjeros. Existían raras excepciones, como algunos libros de Miguel de Guzmán, Claudi Alsina o Antonio Durán.

Pocas editoriales (podemos mencionar Anaya, RBA, Gedisa, Tusquets, Crítica o Euler) publicaban libros de divulgación matemática, y lo hacían dentro de colecciones de divulgación científica donde se incluía algún texto matemático. Algunas publicaciones, más o menos divulgativas, provenían de centros de formación del profesorado o sociedades de profesorado de Matemáticas, y solían estar relacionadas con la educación. Así mismo, algunas editoriales de libros de texto de matemáticas publicaron, de forma puntual, algún libro más divulgativo.

Sin embargo, en los años próximos al AMM2000, previos y posteriores, las editoriales empezaron a despertar lentamente a la divulgación de las matemáticas. Cada vez más editoriales (Debate, Alfaguara, Siruela, Anagrama, Mondadori, entre otras) se animaron a publicar libros en el ámbito de la divulgación matemática, aunque siguieron predominando el mismo tipo de libros y de autores extranjeros.

Un síntoma del cambio fue el hecho de que surgieran editoriales pequeñas centradas en las matemáticas y cuyas firmas eran españolas, como Proyecto Sur (aunque su labor estaba más centrada en la educación y la didáctica de las matemáticas), y sobre todo la editorial Nivola, con colecciones como *La matemática a través de sus personajes*, de biografías de personajes matemáticos, *Diálogos de matemáticas*, que son conversaciones ficticias de dos personajes sobre temas matemáticos, *Epistème*, de textos clásicos de las matemáticas, o la colección *Violeta* para los más jóvenes. De esta editorial surgió *elrompecabezas*, con las colecciones *Sabelotod@s*, de biografías de científicos y científicas, y *Para divertirse y aprender*, problemas de ingenio matemático, para los más jóvenes.

También cabe destacar la publicación de algunas novelas relacionadas con las matemáticas. La primera novela que se convirtió en un éxito comercial fue *El diablo de los números* (1997), de Hans Magnus Enzensberger. A la cual le

siguieron, en el año 2000, *El teorema del Loro*, de Denis Guedj, y *El tío Petros y la conjetura de Goldbach*, de Apostolos Dioxiadis.

Después del AMM2000 la publicación de libros de divulgación se disparó. Todos los meses aparecían varias novedades editoriales. Se publicaron muchos tipos de libros distintos, con temáticas muy diversas, cubriendo una horquilla muy amplia. La matemática recreativa siguió siendo la estrella, con problemas de ingenio, *matemagia*, juegos, papiroflexia, construcciones o actividades recreativas, pero aparecieron libros relacionados con la historia de las matemáticas, con un carácter mucho más divulgativo, tocando la vida y las matemáticas de personajes ilustres, el origen de los números y los sistemas de numeración o las matemáticas de las diferentes culturas; también libros que explicaban conceptos y teorías matemáticas, desde temas populares como el infinito, el número Pi, la razón áurea, los números imaginarios o el cero, hasta temas más profundos, como las ecuaciones que cambiaron el mundo o los problemas del milenio; textos sobre las matemáticas en la vida cotidiana, desde cuestiones de estadística y probabilidad, hasta cuestiones geométricas, pasando por las demás áreas; libros donde se relacionan las matemáticas con la cultura, el arte, la literatura, el cine, el teatro, la poesía, la música, el diseño o la arquitectura; textos sobre tipo de aplicaciones de las matemáticas... Un tipo de libros que se hizo muy popular fue el formado por textos con pequeñas píldoras matemáticas, que abarcaban todo tipo de materias.

Después del AMM2000 la publicación de libros de divulgación matemática se disparó. Empezaron a tener éxito en sus ventas, hasta el punto de llegar, en cierto sentido, a estar de moda

Poco a poco, empezaron a aparecer cada vez más libros de autores españoles, no solo en nuevas editoriales, como Nivola, sino en las editoriales más conocidas y comerciales de España. Los libros de divulgación de las matemáticas ya no eran productos minoritarios, solo para personas del ámbito de las matemáticas, la ciencia o la educación, sino que estaban dirigidos al público general. Los libros de divulgación matemática empezaron a tener éxito en sus ventas, hasta el punto de llegar, en cierto sentido, a estar de moda.

Cada vez más editoriales se implicaron en la publicación de libros de divulgación matemática, incluso pequeñas o grandes firmas que no se dedican a la divulgación de la ciencia. Por ejemplo, la editorial Capitán Swing ha publicado *Apología de un Matemático* (2017), de G. H. Hardy, *Armas de destrucción*

*matemática* (2018), de Cathy O’Neill y co-editado con Nórdica Libros, *Y me llevo una* (2019), de Joséángel Murcia y Cristina Daura; la editorial Funambulista ha publicado *Introducción a la belleza de las matemáticas* (2017), de Yoko Ogawa y Masahiko Fujiwara; o editoriales como Blackie Books y El Acantilado han publicado textos del divulgador Marcus du Sautoy. Entre las editoriales que publican más libros matemáticos, en la actualidad, están muchas de las grandes editoriales, como Anaya, Ariel, Crítica, Debate, Destino, Guadalmazán, Paidós, RBA, SM, o Tusquets.

Fruto de este mayor interés del mundo editorial por las matemáticas, se han ido publicando cada vez más novelas relacionadas con estas, con una importante presencia de esta ciencia en la trama de la misma o en los personajes, algunas son traducciones (por ejemplo, *La fórmula preferida del profesor*, de Yoko Ogawa, *La soledad de los números primos*, de Paolo Giordano, o *El contable hindú*, de David Leavitt) o de autores en español (por citar algunos, *Los Crímenes de Oxford*, de Guillermo Martínez, *El asesinato de Pitágoras*, de Marcos Chicot, *La conjetura de Perelman*, de Juan Soto Ivars, *El oro de Newton*, de Antonio Pérez y Joaquín Collantes, o *El rescoldo*, de Joaquín Leguina). En algunas novelas las referencias matemáticas son pequeñas, en otras se puede hablar incluso de “novelas matemáticas”, y en algunas hay una interesante aportación divulgativa, un ejemplo significativo es *La fórmula preferida del profesor*. Incluso se han publicado algunos cómics, como *Logicomix* o *Las emocionantes aventuras de Ada Lovelace y Charles Babbage*.

También empiezan a surgir proyectos editoriales de sociedades o entidades matemáticas en colaboración con algunas editoriales. Por ejemplo, entre los años 2005 y 2011 se organizaron los concursos literarios de relatos cortos y narraciones escolares RSME-ANAYA, cuyos finalistas fueron recogidos en las publicaciones anuales de la editorial Anaya, *Relatos matemáticos* y *Ficciones matemáticas*. Proyectos más recientes son la *Biblioteca de Estímulos Matemáticos*, que es una colaboración entre la Real Sociedad Matemática Española y la editorial SM, o *Miradas matemáticas*, en la que participan el ICMAT (Instituto de Ciencias Matemáticas), la FESPM y la editorial “Los libros de la Catarata”, o la ya amplia colección de libros de Matemáticas dentro de la colección *¿Qué Sabemos de..?*, un proyecto conjunto del CSIC con Catarata.

A esto se suman colecciones de libros y fascículos de divulgación matemática, como las diferentes colecciones de la editorial RBA: *Juegos de ingenio*, *Desafíos matemáticos*, *El mundo es matemático* y *Genios de las matemáticas*. Todas, salvo

*Desafíos matemáticos*, fueron escritas por autores y autoras españolas. Un ejemplo ilustrativo y significativo es la colección *El mundo es matemático*: sesenta libros escritos por autores españoles, publicado en 12 idiomas diferentes, en más de 15 países, con diferentes ediciones en España como coleccionable, en librería y a través de periódicos. Se vendió en promociones realizadas con, entre otros, los diarios *El País*, *La Vanguardia*, *El Mundo* y cabeceras del grupo Vocento, como *ABC* o *El Correo*. En el extranjero, con *Le Monde* (Francia), *The Times* (Reino Unido), *La libre Belgique* (Bélgica), *Le matin* (Suiza), *Gazeta Wyborcza* (Polonia), *Kathimerini* (Grecia), *Correo de Manhã* (Portugal); y fue también publicada por *National Geographic*. Fue un fenómeno editorial, que ha superado todas las expectativas imaginables y se ha exportado de forma muy exitosa al extranjero.

A esa colección le siguió otra más reciente, de 2017, *Genios de las matemáticas*: sesenta y cinco biografías de matemáticos/as universales escritas por autores/as de España. Ya se ha publicado en este país, y también en Argentina, México, Francia e Italia. El éxito de estas colecciones ha sido tal que en la actualidad otra editorial se ha animado a publicar, con autoría española, otra serie de libros de divulgación matemática, *Grandes ideas de las matemáticas* (2019), que se está vendiendo con el diario *El País*.

Una evolución similar puede encontrarse en la literatura infantil y juvenil. En este ámbito se han publicado muchos libros de juegos, pero sobre todo cuentos y relatos relacionados con las matemáticas. Por citar algunos ejemplos: la editorial Alfaguara publicó varios textos dentro de la colección *Próxima parada*, de autores consagrados como Carlo Frabetti y Ricardo Gómez; la editorial SM, dentro de su colección *El barco de Vapor*, de autores como Emili Teixidor, Carlo Frabetti o Christine Nöstlinger; la editorial Anaya publicó *El asesinato del profesor de matemáticas*; la colección de textos teatrales para trabajar en el aula de Antonio de la Fuente Arjona, incluye la obra *La rebelión de los números*. La editorial elrompecabezas, ya mencionada, se dedica a la literatura infantil y juvenil relacionada con la ciencia, en particular, las matemáticas. Especial atención merecerían los cuentos y poemas ilustrados, como *La guerra de los números*, *La historia del UNO*, o los libros de Kveta Pacovska, como *Hasta el infinito* o *Uno, cinco, muchos*. Finalmente, mencionar los cuentos de Teresa Navarro que aúnan arte, literatura y matemáticas, como *La rebelión de las formas*, *Concertina* y *el dragón* o sus libros-marioneta.

Sin embargo, en cuanto a las revistas, la situación no es tan positiva. Las revistas comerciales de divulgación científica, como *Muy Interesante* o *Quo*, han publicado pocos artículos relacionados con las matemáticas, en sintonía con el alejamiento de la divulgación científica de las matemáticas hasta hace pocos años. La revista *Investigación y Ciencia*, que es la traducción de la revista *Scientific American*, tenía su sección de *Juegos Matemáticos* (Martin Gardner, Ian Stewart o Juan M. R. Parrondo), pero no ha dedicado mucho más espacio a las matemáticas. En su revista de monográficos, *TEMAS*, *IyC* dedicó tres números de un total de noventa y tres a temas matemáticos (“El universo matemático de Martin Gardner”, “Ideas del infinito” y “Grandes Matemáticos”), y tres más relacionados con estas, los dedicados a Alan Turing, Galileo Galilei e Isaac Newton.

La revista de divulgación científica de la Universidad de Valencia, *Métode*, solo ha dedicado tres de sus 98 números publicados directamente a temas matemáticos (“Los problemas del milenio”; “Los números de la Ciencia”; “Fondo y forma, las matemáticas en la creación artística actual”), aunque la revista suele tratar temas transversales, en los que aparecen las matemáticas, como la ciencia en la literatura, mujer y ciencia, ¿qué es la ciencia?, ciencia y cómics o la ciencia de la prensa, entre otros.

Algunas universidades y centros de investigación tienen revistas de divulgación científica, donde puntualmente pueden aparecer temas o entrevistas relacionadas con las matemáticas, como *ConCiencias* (Zaragoza), *Uciencia* (Málaga), o *CicNetwork* (País Vasco), entre otras.

Las únicas revistas en las que nos encontramos un contenido divulgativo continuado son las relacionadas con la educación matemática, como la *Revista UNO* o *SIGMA*, o revistas de la Federación Española de Sociedades de Profesores de Matemáticas, como las revistas *SUMA* o *UNIÓN*. Algunas asociaciones de estudiantes y departamentos de matemáticas también han iniciado pequeños proyectos editoriales. Asimismo, cabe destacar la existencia, entre los años 2005 y 2011, de la revista digital de matemáticas *Matematicalia*.

### 1.2.3. Exposiciones y museos

En nuestras ciudades son frecuentes las exposiciones artísticas, pero son excepcionales las exposiciones de contenido matemático. Sin embargo, este medio

es una forma atractiva de divulgación matemática. La belleza de las imágenes, el atractivo de las actividades de *ver y tocar*, los textos sugerentes y sorprendentes, además de captar la atención del público, permiten hacer aflorar los contenidos matemáticos que hay detrás. En España, en los últimos años, estas exposiciones han ido apareciendo poco a poco en museos, centros culturales, instituciones y hasta en los centros escolares. Las sociedades de matemáticas y de profesorado de Matemáticas han tenido en este cambio de panorama un papel determinante.

#### a) “Horizontes matemáticos”

Fue la primera gran exposición de matemáticas que se celebró en España. La primera ciudad que visitó fue Pamplona en septiembre de 1988, después, Madrid. El éxito fue rotundo y tras tres años en la capital, “Horizontes matemáticos” visitó más de 40 ciudades de España hasta 1991. Era una exposición interactiva desarrollada por el IREM de Orléans y en la APMEP, en colaboración con La Villette de París. De hecho, constituyó el germen de la sección de matemáticas de dicho museo. El artífice de su traída a España fue el catedrático de Matemáticas de educación secundaria, Florencio Villarroya. La exposición constaba de 60 actividades manipulativas, presentadas con una función didáctica, interactiva y lúdica, organizadas en torno a 10 quioscos o temas que abarcaban algunos de los grandes problemas y aplicaciones de las matemáticas.

#### b) “El legado de las matemáticas: de Euclides a Newton, los genios a través de sus libros”

En el 2000 aparecieron numerosas exposiciones abiertas a todos los públicos. Sin duda la más destacada fue la titulada “El legado de las matemáticas: de Euclides a Newton, los genios a través de sus libros”. Tuvo lugar en el Salón de Tapices de los Reales Alcázares de Sevilla, su comisario, Antonio José Durán, contó con el apoyo de la RSME, de la Sociedad Thales de Profesores de Matemáticas de Andalucía y de la Universidad de Sevilla. Reunió incunables, manuscritos, primeras ediciones impresas y ediciones prínceps de las obras cumbres de la matemática desde la Grecia clásica hasta Newton. Inaugurada el 13 de diciembre, en menos de un mes recibió más de 50.000 visitantes.

En nuestras ciudades son frecuentes las exposiciones artísticas, pero son excepcionales las exposiciones de contenido matemático

Las sociedades de profesorado de Matemáticas también organizaron, con motivo del Año Mundial, exposiciones con un carácter divulgativo y didáctico. Entre ellas hay que mencionar “2000 Piezas matemáticas”, exposición interactiva de la SMPM Emma Castelnuovo, que se inauguró en el Instituto San Isidro de Madrid con motivo del centenario del nacimiento de Puig Adam, y que después recorrió centros educativos, centros de profesorado y casas de cultura de la Comunidad de Madrid. De características similares es la exposición “Matemáticas 2000”, organizada por la Sociedad Canaria de Profesores de Matemáticas Isaac Newton, que recorrió casi todos los institutos de las islas y que desde 2012 se expone en la Casa-Museo de la Matemática Educativa de La Laguna.

En 2004, nace en Aragón el programa *Matemática Vital*, del Departamento de Educación de Gobierno autónomo, coordinado por Fernando Corbalán. Además de utilizar exposiciones realizadas previamente como “Los 17 grupos de simetría en el arte mudéjar aragonés”, de Ángel Ramírez y Carlos Usón, *Matemática Vital* generó exposiciones propias que recorrieron Aragón y otras regiones españolas: “Martemáticas” muestra la relación entre las matemáticas y el arte, “Las mates de tu vida”, 18 murales explicando las matemáticas que hay a tu alrededor, y “Geometría divina”, 25 fotografías de José Ramón I. Alba con contenido y actividades matemáticas.

Este último contenido, las exposiciones de fotografía matemática, ha gozado de una gran popularidad en nuestro país. Las fotografías facilitan la visualización de conceptos y aplicaciones matemáticas y son una excelente forma de acercar las matemáticas a la sociedad. La primera gran exposición de fotografía matemática titulada *Geometrías* tuvo lugar en las V JAEM, Jornadas de Aprendizaje y Enseñanza de las Matemáticas, organizadas por la FESPM en Castellón. Su autora, la profesora de Matemáticas y fotógrafa, Pilar Moreno, crearía las bases estéticas de este tipo de exposiciones y sobre todo de sus aplicaciones didácticas. Otras exposiciones de fotografía matemática como *Anda con ojo* (2005), de Pilar Moreno, realizada por la RSME, o *De cerca* (2007), de Lucía Morales, han recorrido distintas ciudades españolas.

Las fotografías facilitan la visualización de conceptos y aplicaciones matemáticas

Desde entonces, los concursos y exposiciones de fotografía matemática han proliferado por toda nuestra geografía en los lugares más diversos: centros de secundaria, facultades de matemáticas, congresos y jornadas, museos y centros

culturales. El portal de divulgación de la RSME, DivulgaMAT, recoge más de 130 exposiciones de fotografía matemática de diversa autoría y centros. Pero las exposiciones de fotografía matemática han conseguido desbordar el marco meramente matemático y conquistar espacios de otras áreas científicas. La exposición *Geometría natural*, de contenido matemático vinculado a las plantas, celebrada en el Real Jardín Botánico de Madrid en noviembre de 2017 y en el Jardín Botánico de Córdoba en febrero de 2018, es uno de los múltiples ejemplos.

### c) Matemáticas en los museos

Si hasta el 2000 la presencia de las matemáticas en los museos de ciencias brillaba por su ausencia casi absoluta, en esa década las matemáticas, de una u otra forma, empiezan a aparecer. Mención especial merece el Museo Elder de la Ciencia y la Tecnología de Las Palmas, que abrió sus puertas en diciembre de 1999, justo en vísperas del 2000, y que, bajo la dirección de Jacinto Quevedo, presentaba una notable muestra de contenidos y actividades específicos de matemáticas. Murales, máquinas de calcular, espacios temáticos con títulos sugerentes: *Urna de libros*, *¡No me mates, por favor!*, *Ajedrez circular*, *Anamorfosis*, *Cubo mágico...*, completaban una oferta atractiva. Además, en los tres primeros años de vida del museo, el Elder organizó hasta diez exposiciones temporales de matemáticas.

Uno de los grupos de trabajo de las Jornadas sobre Popularización de la Ciencia: las Matemáticas, organizadas por la Comisión de Divulgación de la RSME en Donostia en 2004, trataba sobre museos. En él se pudo constatar la escasa presencia de contenidos matemáticos en los museos científicos de nuestro país, reduciéndose a mínimas secciones con un carácter lúdico y, en su caso, a exposiciones temporales no muy espectaculares.

La excepción fue la gran apuesta que Cosmocaixa, de la mano de Jorge Wagensberg, con la exposición “Y después fue... ¡LA FORMA!”, inaugurada en octubre del 2002, en el museo que anteriormente tenía en Alcobendas. En ella, las matemáticas aparecen vinculadas a ocho formas básicas de la naturaleza. La exposición se completaba con un ciclo de cuatro conferencias divulgativas titulado “Mirando el mundo con ojos matemáticos”, a cargo de Antonio Pérez Sanz. La presencia de las matemáticas tuvo continuidad con la exposición “Números de buena familia”, reflexión sobre la utilidad de los números en la vida cotidiana.

Hasta hace poco tiempo, el único museo de matemáticas de nuestro país ha sido el Museo de Matemáticas de Catalunya (MMACA), con sede en el Palau

Mercader de Cornellá de Llobregat. El MMACA, nacido en 2014, forma parte, junto con el Mathematikum de Giessen (2002, Alemania) y el MoMath de Nueva York (2012, EE. UU.), de los primeros museos interactivos del mundo dedicados exclusivamente a las matemáticas. El MMACA cuenta con más de 100 módulos interactivos (su lema es “*Prohibido NO tocar*”) que tratan múltiples temáticas: geometría plana y de tres dimensiones, juegos y puzles, estadística y probabilidades, fractales, aritmética y números, ilusiones ópticas y arte. Además, en el año 2018 el MMACA, junto a CosmoCaixa de Barcelona, fueron las sedes, designadas por el MoMaTH de Nueva York, de la tercera Conferencia MATRIX (Mathematics Awareness, Training, Resource & Information eXchange), dirigida a museos de todo el mundo, entidades y personas dedicadas al diseño, creación y exposición de materiales destinados a la divulgación matemática. En 2019 se ha inaugurado el segundo centro de este tipo en nuestro país: el Museo de Matemáticas Monasterio de Casbas, en Huesca (Aragón).

A finales de septiembre de 2018, el Museo de Ciencia de Valladolid inauguraba una sección dedicada exclusivamente a las matemáticas: “Malditas matemáticas... ¿o no?”. La cuarta planta del museo está ocupada de forma permanente por contenidos matemáticos con un alto nivel de interactividad distribuidos en siete bloques diferentes: ‘Un1v3rs0 num3r1c0’, ‘Descubriendo figuras’, ‘Perplejidad’, ‘Emboscadas de la lógica’, ‘Azar y estadística desafían la intuición’, ‘En busca de una solución’ y ‘MateMatizArte’.

#### **d) Exposiciones del ICM 2006 (Madrid)**

En 2006, el Congreso Internacional de Matemáticos (ICM) tuvo lugar en Madrid, y de forma paralela al evento científico se realizaron varias actividades de divulgación de especial importancia. El Centro Cultural Conde Duque acogió tres exposiciones matemáticas de carácter abierto, dirigidas a la sociedad en su conjunto y comisariadas por Raúl Ibáñez y Antonio Pérez Sanz. Se prolongaron mucho más allá de la duración del congreso, desde el 17 de agosto al 29 de octubre, y en total acogieron a más de 70.000 visitantes. Las exposiciones eran: 1) “¿Por qué las matemáticas?”, exposición internacional patrocinada por la UNESCO. No se trataba de una exposición clásica donde el visitante se dedica simplemente a mirar las obras, sino de una exposición interactiva en la que el público se implica con los materiales expuestos, paneles, dispositivos interactivos, modelos de experimentación, juegos, retos y hasta pompas de jabón o bi-

cicletas de ruedas no circulares. Mirar, observar, jugar–tocar–experimentar... y pensar; 2) “Arte Fractal: belleza y matemáticas”. Medio centenar de obras de gran formato seleccionadas entre las más de 350 que participaron en el concurso *Arte Fractal. ICM 2006 Benoît Mandelbrot*; y 3) “Demoscene: matemáticas en movimiento”. Se expusieron trabajos de “Demoscene”, pequeñas películas de animación, generadas en tiempo real, a través de algoritmos matemáticos, junto con explicaciones y conferencias de algunos de sus autores y autoras.

La Biblioteca Nacional de España acogió otra exposición dirigida a un público más experto, “La vida de los números”. Su objetivo fue ilustrar, a través de manuscritos, libros y otros objetos, el curso de la vida del elemento matemático más conocido por el público en general: los números. Su comisario fue Antonio J. Durán.

Otras tres exposiciones completaban la oferta del ICM. La primera, “El ICM a través de la historia”, coordinada por Guillermo Curbera, repasaba la historia de las 24 ediciones del Congreso Internacional de Matemáticos desde Zürich en 1897, hasta Madrid 2006. La exposición bibliográfica “Historia del conocimiento matemático”, realizada en su Biblioteca Histórica Marqués de Valdecilla, mostraba el desarrollo de la ciencia matemática a través de los textos utilizados en las instituciones donde se enseñaban matemáticas en España desde el s. XVI. La última fue “Kurt Gödel. 1906-1978”, celebrada en el Jardín Botánico de la Universidad Complutense y coordinada por la profesora Capi Corrales.

#### e) Las exposiciones de la RSME

La RSME ha desarrollado exposiciones propias que se han expuesto en diversos lugares. “El rostro humano de las matemáticas”, realizada en 2007, está formada por 60 paneles en los que aparecen las caricaturas de 30 de los matemáticos más famosos de la historia y una breve semblanza recogiendo aspectos de su vida y de su obra. La exposición virtual se puede visitar en DivulgaMAT. Por su parte, “Momentos Matemáticos” es una colección de pósters divulgativos editados por la American Mathematical Society (AMS) para promover la apreciación y el conocimiento del papel relevante que las matemáticas desempeñan en la ciencia, la naturaleza, la tecnología y la cultura. Cada póster trata un tema de actualidad y gran interés social, con una sucinta explicación del problema que se aborda y de las herramientas matemáticas que inciden en su tratamiento, acompañada de una ilustración atractiva. Se realizó una versión española en colaboración con la revista *Matematicalia*, los *MatePosters*.

A esto se suma “La Mujer, innovadora de la Ciencia”, puesta en marcha por la Comisión Mujeres y Matemáticas de la RSME, con la ayuda de la FECYT. En la misma se presentan la vida y obra de 20 científicas de todos los tiempos cercanas a las matemáticas. Desde marzo de 2004, DivulgaMAT ha ido recopilando, en formato digital, las principales exposiciones que se han realizado en nuestro país, así mismo ha organizado exposiciones digitales originales. Hoy hay colgadas, en este portal, más de 200 exposiciones virtuales, lo que le convierte en el mayor repositorio de exposiciones matemáticas del planeta.

Además, con motivo del centenario de la RSME en 2011, se organizó la exposición “RSME-Imaginary”. Fue una exposición itinerante, adaptación de la exposición “Imaginary”, creada en 2008 por el Instituto de Matemáticas de Oberwolfach. Las protagonistas son las formas tratadas matemáticamente mediante programas informáticos. “RSME-Imaginary” visitó 21 ciudades españolas.

#### 1.2.4. Medios de comunicación

Durante décadas, las matemáticas han sido un tema prácticamente ausente en los medios de comunicación, incluso en las propias secciones de ciencia. Existen ciertas características que hacen que la disciplina tenga más dificultad para aparecer en la agenda de los medios. En primer lugar, en ciencia, la actualidad de la que se ocupan los medios, viene dada principalmente por los nuevos resultados de investigación y, así como en otras disciplinas los avances recientes saltan con mayor facilidad a los titulares de los periódicos (principalmente, la investigación relacionada con el ámbito biosanitario), la naturaleza, en muchos casos abstracta, de la investigación en matemáticas hace que sea complicado vincularla con las preocupaciones cotidianas de las personas, que tengan relevancia para ellas y, por tanto, que se conviertan en contenido *noticiable* para los medios generalistas. Sin embargo, otras disciplinas con un enorme grado de abstracción, como la física de partículas, hace años que trascendieron esa barrera. ¿Cómo es posible que se consideren ideas tan abstrusas como las de la teoría de cuerdas más *amigables* que aquellas provenientes de, por ejemplo, la teoría de grupos?

Uno de los principales motivos está en la difusión que se ha hecho de uno y otro ámbito. Mientras que los grandes colisionadores de partículas contaban no solo con físicos y físicas con ganas de convencer a la gente de que el dinero dedicado a su ciencia estaba bien invertido, sino también con nutridos gabinetes

de prensa profesionales, la investigación en matemáticas sucedía en recónditos despachos universitarios. Hasta tiempos recientes, muy pocos matemáticos y matemáticas han realizado un esfuerzo por contar su trabajo a los medios, o han mostrado algún tipo de interés por hacerlo. Sin duda, dentro de la comunidad científica, la valoración de los periodistas ha solido ser negativa: estos no van a poder entender nada de lo que les cuenten, y además van a tergiversar las pocas palabras que terminen por escribir. Asimismo, la aparición en medios no ha sido, hasta hace poco, una gran recompensa para el personal matemático, sino incluso todo lo contrario: dentro de la comunidad se desdeñaba a aquellos investigadores e investigadoras que salían en los periódicos.

Tampoco las instituciones, ni las revistas matemáticas asumieron esta labor. Desde hace años, las principales revistas científicas, como *Nature*, *Science*, *The Lancet*, etc., envían semanalmente notas de prensa embargadas, donde se ofrecen, ya con un tratamiento periodístico, los trabajos científicos destacados de cada número. Esta información es la principal fuente del periodista de ciencia y no incluye, casi nunca, contenidos de matemáticas. Los nuevos resultados matemáticos aparecen en revistas especializadas que no disponen de gabinete de prensa. Por otro lado, las unidades de cultura científica y gabinetes de prensa que existen, desde hace una década, en muchas universidades suelen dejar las matemáticas fuera de los contenidos que envían a los medios de comunicación. De nuevo, otros campos científicos eclipsaron la atención de estas estructuras, que habitualmente cuentan con unos recursos muy limitados.

Tampoco los periodistas han tenido especial interés por acercarse a la matemática: su mala fama, derivada de su identificación con las matemáticas escolares, ha generado una cierta reticencia (o incluso miedo) hacia la disciplina por parte de los y las periodistas, que frecuentemente tienen una baja formación matemática y prejuicios previos ante esta disciplina.

Sin embargo, en los últimos años, esta situación ha cambiado de forma sustancial, y las matemáticas han ganado protagonismo en los medios. En estas décadas la comunidad matemática ha ido dándose cuenta, poco a poco, de que para llegar a los medios debía de realizar un esfuerzo por su parte. En un primer periodo, fueron unas y unos pocos los matemáticos que de forma aislada iniciaron las relaciones con los medios. De esta manera, muchas de las noticias que aparecerían en medios eran propiciadas por vínculos puntuales entre periodistas y matemáticos o matemáticas. Cabe destacar a Miguel de Guzmán, Claudi Alsina,

Raúl Ibáñez, Marta Macho-Stadler, Manuel de León, Antonio Pérez, Fernando Blasco, Fernando Corbalán, Clara Grima...

Con el tiempo, estas experiencias puntuales comenzaron a formalizarse a través de estructuras específicas dedicadas a hacer de puente entre la comunidad matemática y los medios de comunicación, los gabinetes de prensa, en los que entra en juego un nuevo tipo de profesional: el comunicador o comunicadora de las matemáticas. Los gabinetes de prensa han estado vinculados a grandes eventos científicos y a instituciones y habitualmente desempeñan labores similares: elaboración de notas de prensa e informes, gestión de las relaciones con medios (entrevistas, ruedas de prensa, colaboraciones), elaboración de hojas informativas, gestión de redes sociales, comunicación interna. La primera experiencia de este tipo tuvo lugar en el año 2000, con la celebración del Año Mundial de las Matemáticas, cuando se realizó el primer plan de comunicación dirigido a medios de comunicación. Aunque el impacto en medios fue moderado, los y las periodistas comenzaron a tener contacto con profesionales de las matemáticas.

En el año 2006 tuvo lugar la XXV edición del Congreso Internacional de Matemáticos (ICM) en Madrid, para el que se creó un equipo de prensa junto a personal voluntario de la organización, que logró un notable impacto en medios. De 2007 a 2011 se desarrolló el programa *Consolider i-Math*, que contó con un gabinete de prensa para incrementar la presencia de las matemáticas en los diferentes medios. En 2011, con motivo de su centenario, la RSME puso en marcha un gabinete de prensa (entre otras colaboraciones, se realizaron los vídeos de los “Desafíos matemáticos” con *El País*). En el año 2012, el Instituto de Ciencias Matemáticas creó una estructura estable dedicada específicamente a la comunicación del centro, la primera de una institución matemática en España. En 2016 se concedió el Proyecto Red Estratégica de Matemáticas, que creó un pequeño plan de comunicación para dos años; se instauró el gabinete de prensa de la RSME, con dos periodistas; y se formó el gabinete de prensa de la Federación Española de Sociedades de Profesores de Matemáticas (FESPM). En 2017, el Barcelona Graduate School of Mathematics (BGSMath) configuró su propio gabinete de prensa, en 2018 lo hizo el Instituto de Matemáticas de la Universidad de Sevilla (IMUS) y BCAM, Basque Center for Applied Mathematics, cuenta con una persona responsable de comunicación.

Hoy en día no es extraño encontrar contenidos mediáticos sobre matemáticas en periódicos y en radio

Gracias a todos estos esfuerzos, hoy en día no es extraño encontrar contenidos mediáticos sobre matemáticas en periódicos y en radio, principalmente noticias sobre educación matemática y, en espacios divulgativos, más que informativos, curiosidades matemáticas y matemáticas recreativas, pero también las matemáticas como parte de la cultura humana y su presencia en la vida cotidiana, incluidas su infinidad de aplicaciones prácticas. Otra de las vertientes más tratada en los medios es el lado humano de las matemáticas, es decir, retratos de las personas que las ejercen: ya sea a través de entrevistas u obituarios, se presentan su vida y obra. En relación con la actualidad, aparecen noticias relativas a premios o conmemoraciones y cuestiones de política científica, e incluso se publican noticias sobre nuevos resultados de investigación.

Frente a las dificultades mencionadas en el comienzo de la sección, se ha tratado de sacar partido precisamente a la visión diferente que ofrecen las matemáticas de la realidad, que puede resultar novedosa y llamativa para el público general. En estos años, la imagen mediática de las matemáticas ha mutado de una disciplina aburrida y monótona sin ninguna utilidad, a una ciencia con gran potencial de fascinación. Se destaca el halo de misterio que rodea a la disciplina, la satisfacción del lector tras entender o vencer un reto difícil, sus vinculaciones sorprendentes con el arte, la naturaleza, así como con otras ciencias (biología, medicina, física...) y con temas de actualidad como el *big data*, la computación, la criptografía, etc.

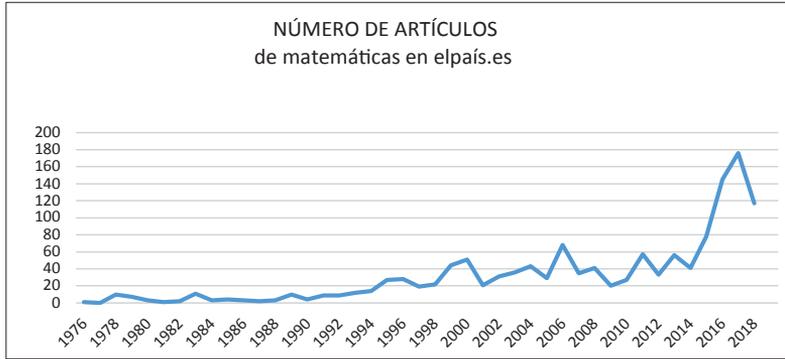
A continuación, se analizará la presencia durante los últimos 20 años de este tipo de contenidos en los formatos tradicionales más populares: la prensa escrita, la radio y la televisión.

#### **a) Matemáticas en la prensa escrita**

Para hacerse una idea de la presencia de las matemáticas en los medios de comunicación y de su evolución en las últimas décadas es interesante analizar el caso de *El País*, el medio generalista de mayor difusión en España. En esta cabecera, las matemáticas han pasado de tener presencia prácticamente nula a convertirse en un tema popular, con varias secciones en la versión digital del periódico dedicadas específicamente a ello. El aumento de presencia de las matemáticas en el medio ha ido en paralelo a las iniciativas en comunicación de la comunidad científica.

La evolución (desde 1976, el año en el que aparece el primer artículo en la categoría “matemáticas” en la hemeroteca digital de [elpais.es](http://elpais.es)) puede observarse en la figura 1 y, con más detalle, en la tabla 1.

**Figura 1. Número de artículos de matemáticas en elpaís.es por año**



**Tabla 1. Número de artículos de matemáticas en elpaís.es por año**

1976	1	1995	27	2006	68
1977	0	1996	28	ICM en Madrid	
1978	10	1997	19	2007	35
1979	7	1998	22	2008	41
1980	3	1999	44	2009	20
1981	1	2000	51	2010	27
1982	2	Año mundial		2011	57
1983	11	2001	21	Centenario de la RSME	
1984	3	2002	31	2012	33
1985	4	2003	36	2013	56
1986	3	2004	43	2014	41
1987	2	2005	29	2015	78
1988	3				
1989	10				
1990	4			2016 sección	145
1991	9			Café y	
1992	9			teoremas	
1993	12			2017	176
1994	14			2018	117 (hasta
					septiembre)

Se observa un incremento paulatino del número de piezas sobre matemáticas, en el que se pueden distinguir varios periodos:

- 1) 1976-1994. Hay un número muy reducido de artículos sobre matemáticas (de 1 a 14 al año), y principalmente son obituarios de matemáticos. No hay informaciones sobre resultados de investigación en el campo, ni nacionales ni internacionales.
- 2) De 1995 a 2005 se incrementa el número de artículos al año significativamente, con un pico en el año 2000 (que fue el Año Mundial de las Matemáticas). Empiezan a incluirse artículos sobre grandes resultados de investigación internacional.
- 3) De 2006 a 2015 aumenta globalmente el número de publicaciones sobre matemáticas, con un incremento especialmente reseñable en 2006 (cuando se celebra el Congreso Internacional de Matemáticos en Madrid), y un descenso en los años 2009 y 2010. El año 2011 (el año del centenario de la Real Sociedad Matemática Española) también acumuló mayor número de piezas dentro de la categoría de ‘matemáticas’. En el marco de esa celebración se puso en marcha la primera colaboración regular entre una institución matemática española y un medio generalista, con los vídeos de los “Desafíos matemáticos”.
- 4) En el periodo 2016-2017 el número de artículos de la sección de matemáticas se dispara, llegando a sumar 176 en 2017. En este periodo han comenzado varias secciones en [elpais.es](http://elpais.es) dedicadas específicamente a la disciplina.

Además de la evolución propia de la divulgación de las matemáticas, hay varios factores externos que influyen en la cantidad de artículos publicados. Uno de ellos es el paso del formato escrito al formato digital: el número de artículos publicados en la edición digital al día es mucho mayor que en la prensa escrita, por lo tanto, los años previos a la migración digital el número de artículos (en general) era mucho menor.

En las últimas dos décadas han comenzado a surgir secciones o blogs dedicados a las matemáticas, con artículos elaborados directamente por matemáticos o matemáticas y, en ocasiones, con el apoyo de instituciones científicas

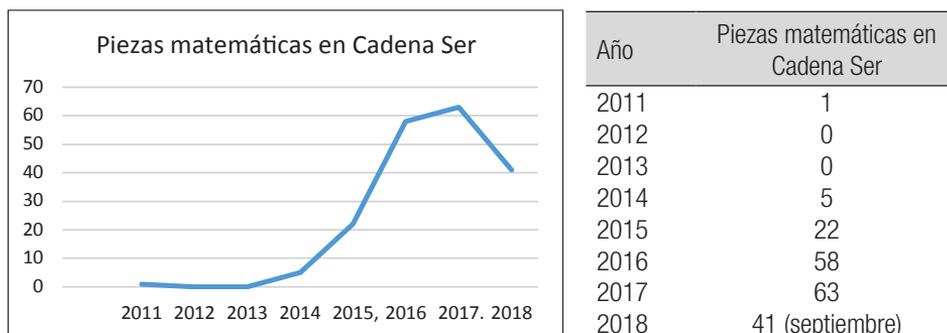
En el resto de medios generalistas, a lo largo de las últimas décadas también han comenzado a surgir secciones o blogs dedicados a las matemáticas, con artículos elaborados directamente por matemáticos o matemáticas y, en ocasiones,

con el apoyo de instituciones científicas. Suelen tener una periodicidad semanal y presentar cuestiones de matemáticas recreativas, resolución de problemas o de historia de las matemáticas. En concreto, cabe destacar las siguientes: las secciones ‘Los tres pies del gato’, ‘Espacio de-Mente’, ‘Mates de cerca’, de Fernando Corbalán, en el suplemento de educación del *Heraldo de Aragón* (publicación impresa); la sección ‘Desafíos Matemáticos’ de la Real Sociedad Matemática Española con motivo de su centenario (2011) en *elpais.es* (digital); el blog ‘Mati, una profesora muy particular’, de Clara Grima (textos) y Raquel García Ulldemolins (ilustraciones), en *20minutos* (digital) (2012-2013); la sección ‘El juego de la ciencia’, de Carlo Frabetti, en *elpais.es* (2015-actualidad); la sección ‘Café y Teoremas’, del Instituto de Ciencias Matemáticas (ICMAT), en *elpais.es* (2016-actualidad); el blog ‘El Aleph’, de Miguel Ángel Morales, en *elpais.es* (2016-2018); la sección ‘El Abcdario de las matemáticas’, de la comisión de divulgación de la RSME, en *ABC digital* (2017-actualidad).

## b) Matemáticas en la radio

Es más complicado hacer un seguimiento de las apariciones en radio de las matemáticas, ya que, a diferencia de la prensa escrita, el archivo de audio es difícil de consultar. En la Cadena Ser, la radio generalista de mayor difusión en España, es posible hacer una búsqueda por temas pero solo se puede retroceder en el archivo hasta 2011, cuando aparece la primera pieza de matemáticas; hasta 2014 no está archivada la siguiente. En 2015 asciende el número a 23 piezas; en 2016, a 58 y en 2017, a 63. Gran parte de las noticias son sobre enseñanza de las matemáticas y olimpiadas matemáticas, a lo que se suman secciones de colaboradores matemáticos, entre los que se encuentran Eduardo Sáez de Cabezón, José Ángel Murcia y Rubén Jiménez.

Figura 2



La evolución del número de contenidos matemáticos en Cadena Ser puede apreciarse en el gráfico adjunto.

Las secciones de matemáticas en radio han ido apareciendo tímidamente a lo largo de los años: habitualmente tienen periodicidad semanal, están dirigidas por matemáticos y presentan temas de cultura matemática, aplicaciones de las matemáticas y relaciones con otros aspectos de la cultura, así como problemas de ingenio y curiosidades matemáticas.

Uno de los pioneros en este campo fue el matemático canario Luis Balbuena, quien en la década de los 90 ya colaboraba con Radio Popular en Tenerife. Por otra parte, en el programa *No es un día cualquiera*, de Radio Nacional de España (RNE), dirigido por la periodista Pepa Bueno, tuvo una colaboración matemática periódica desde el año 2003. En el año 2005, Raúl Ibáñez puso en marcha su colaboración semanal en el programa *Graffiti* de Radio Euskadi, que duró hasta 2013, cuando cambió al programa *La Mecánica del Caracol*, en el que continúa en la actualidad. Durante varios años, el matemático sevillano, Ismael Roldán presentó el programa de radio: *El Rincón Matemático*, dentro de *El Observatorio* en Canal Sur Radio. En RNE, a partir de 2012, nacieron varias secciones de matemáticas en diversos programas y emisoras: las colaboraciones de José María Letona en *No es un día cualquiera*, de RNE; la sección semanal del ICMAT en el programa *Eureka*, de Radio Exterior; a partir de 2013, la Sección de Fernando Blasco en *A hombros de gigantes*, de RNE y Radio 5. En 2017 se pusieron en marcha dos nuevas colaboraciones semanales: la de Eduardo Sáez de Cabezón en *Gente Despierta*, de RNE y la de Clara Grima en *No es un día cualquiera* en RNE. Además, ese mismo año se puso en marcha el primer programa dedicado exclusivamente a matemáticas: *Ratz de 5*, dirigido por Santi García Cremades con la colaboración de Antonio Pérez Sanz y Javier Santaolalla y emitido semanalmente en Radio 5.

### c) Documentales y televisión

A diferencia de la prensa escrita y la radio, la ausencia de contenidos matemáticos de carácter divulgativo en las parrillas televisivas de nuestro país es más que notable. Es cierto que los aspectos comunicativos propios de la televisión, en cuanto al tratamiento y presentación de la información, no parecen encajar con los aspectos epistemológicos de las matemáticas: los niveles de abstracción de las mismas parecen muy alejados de la volatilidad y el ritmo frenético televisivo. La

visión tópica del matemático por los y las profesionales de la televisión como alguien inmerso en un universo de fórmulas y entes abstractos, alejado del mundo real y con pocas cosas comprensibles que trasladar al mundo de la comunicación audiovisual ha convertido a las matemáticas en un tema casi prohibido en ese medio. Si hacemos un estudio de las parrillas de las distintas televisiones en las últimas décadas, y uno un poco más profundo sobre los contenidos informativos de las mismas, no es difícil llegar a estas tres conclusiones:

- El tratamiento matemático de las informaciones de carácter general –económicas, sociológicas, culturales...– es, casi siempre, escaso y se suele reducir a la utilización de gráficas estadísticas.
- Existe una escasa presencia de programas de TV con contenidos específicamente matemáticos –documentales, TV educativa...– tanto en las televisiones públicas estatales como en las cadenas autonómicas. Para las cadenas privadas las matemáticas directamente no existen.
- Los pocos programas de elaboración propia de contenido científico como *Órbita Laika* se emiten en horarios intempestivos habitualmente.

Las exigencias implícitas del medio televisivo, como son el hecho de presentar la información de forma fragmentada y vertiginosa, hacerlo de forma inconexa y fuera de contexto y la tendencia a la trivialización y saturación de mensajes de bajo nivel cultural e intelectual, hacen que la información transmitida sea extremadamente volátil y poco favorecedora de procesos mentales de carácter reflexivo que exijan un nivel significativo de abstracción, como el de las matemáticas. Además, el *tempus* televisivo no permite actitudes reflexivas profundas y calmadas, no tolera pausas.

En países anglosajones, con una fuerte tradición de televisión educativa, han sabido hacer frente a las dificultades para ofrecer contenidos matemáticos televisivos de calidad

Estas características expresivas y de comunicación habituales en el medio televisivo chocan, a primera vista, con los hábitos de trabajo y de enseñanza de una materia en teoría tan abstracta como las matemáticas en la que los procesos mentales puestos en juego son: analizar situaciones problemáticas, elaborar hipótesis, realizar conjeturas, validarlas, particularizar, generalizar, buscar soluciones, enmarcarlas... Sin embargo, este choque es solo aparente, o al menos, es evitable. A pesar de este “vivir de espaldas” de estos dos mundos enfrentados, la realidad

apunta a un encuentro casi inevitable. Al menos en otras latitudes ya se ha producido, y ese lugar de encuentro ha estado con mucha frecuencia en el marco de las televisiones educativas.

En países anglosajones, sobre todo Reino Unido, con una fuerte tradición de televisión educativa, han sabido hacer frente a estas dificultades para ofrecer contenidos matemáticos televisivos de calidad.

1. *Reino Unido*. La BBC comenzó sus emisiones de televisión educativa en 1977 y hoy es una de las mayores productoras de materiales educativos y divulgativos del mundo. Tiene una rama, *BBC School Television*, encargada de producir programas y series para su uso en clase en el desarrollo del currículo. Su producción se completa con series divulgativas como *Historia de las matemáticas*, del matemático Marcus de Sautoy.

2. *Canadá y EE. UU.* TV Ontario desarrolla los programas *TVO mPower* y *TVO Mathify*. Teniendo en cuenta la calidad de estos productos y que TV Ontario emite 115 horas semanales, entre las que se cuentan recursos educativos, documentales de todos los temas y niveles educativos, juegos interactivos en coordinación con el Ministerio de Educación, que abarcan todo el currículo de Matemáticas, la envidia nos corroe.

En Estados Unidos hay que destacar un proyecto del Public Broadcasting Service (PBS), *Mathline*, en colaboración con el National Council of Teachers of Mathematics (NCTM), que desde 1995 emite en más de 50 cadenas de 20 Estados. Documentales como *The Great Math Mystery*, de Daniel McCabe de 2015, han dado la vuelta al mundo. La 2 de TVE lo emitió en 2016.

3. *Japón*. Probablemente el país decano en el uso de la televisión educativa es Japón. La NHK Educational TV comenzó sus emisiones en enero de 1959. Desde entonces miles de programas y videoclips de matemáticas de todos los niveles educativos han llegado a las escuelas y los hogares japoneses.

Sin embargo, en España, por lo que respecta a la producción de programas de matemáticas por las televisiones públicas, tanto estatales como autonómicas, la experiencia es bastante limitada. Sin embargo, hay que resaltar dos intentos dignos de tener en cuenta (ambos de la década de los 80 del siglo pasado): el programa dedicado a las matemáticas dentro de la serie *El legado científico del mundo árabe*, con guión de Roger Garaudy, y algunos capítulos del programa *¿Un mundo feliz?*, de Felipe Mellizo, con títulos como Descartes, Boole, Bertrand

Russell, René Thom, Rey Pastor, No euclídeos, Los novatores... Felipe Mellizo demostró que se podían hacer documentales en TVE hablando de matemáticas y de sus personajes.

En 1992 se firma el acuerdo MEC-TVE para la puesta en marcha de la Televisión Educativa. Nace así el programa *La Aventura del Saber*, que se emite en La2 de TVE de lunes a viernes por la mañana. Entre 1992 y 1996 los contenidos matemáticos de *La Aventura del Saber* se limitan a tres entrevistas con matemáticos: una sobre fractales, otra sobre el concurso de fotografía matemática de la SMPM y otro sobre las VII JAEM celebradas en Madrid.

En enero de 1996 nace, de la mano del profesor Antonio Pérez Sanz, la serie *Más por menos*, de 13 capítulos de 20 minutos de duración que se realizaron a lo largo del año 1996 y que se emitieron entre 1996 y 1997. Los títulos fueron: *El número áureo. Movimientos en el plano. La Geometría se hace Arte. El mundo de las espirales. Cónicas: del baloncesto a los cometas. Fibonacci. La magia de los números. Las Leyes del Azar. Números naturales. Números primos. Fractales...La geometría del caos. Matemática electoral. Un número llamado e. El lenguaje de las gráficas. Matemáticas y realidad.*

En el año 2000, con motivo del Año Mundial de las Matemáticas, el director de la TV Educativa se plantea, a propuesta otra vez de Antonio Pérez, hacer una serie con 10 capítulos de 25 minutos. Los documentales, de un carácter claramente divulgativo, responden a dos ejes fundamentales; por un lado, el seguimiento histórico de ideas matemáticas populares y por otro, mostrar el rostro de los protagonistas de los grandes descubrimientos matemáticos. Los títulos: *Pitágoras: mucho más que un teorema* (obtuvo un Dragón de Oro, premio especial del jurado, en el Festival Internacional de documentales científicos celebrado en Pekín, 2002). *Historias de PI. Números y cifras: un viaje en el tiempo. Fermat: el margen más famoso de la historia. Gauss: entre lo real y lo imaginario. Euler: una superestrella. Newton y Leibniz: sobre hombros de gigantes. Las Matemáticas en la Revolución Francesa. Mujeres Matemáticas. Orden y Caos: la búsqueda de un sueño.*

Por su lado, el panorama en las televisiones autonómicas respecto de la producción y emisión de programas de matemáticas no ha sido mejor. En Canal Sur de Andalucía, Canal 33 de Catalunya y en la EiTb se han emitido programas sueltos con algún contenido matemático. En el resto de las televisiones autonómicas la presencia de las matemáticas se remite a los noticiarios para cubrir los

resultados de las PAU y EBAU o eventos locales: congresos, jornadas, olimpiadas ...

Desde diciembre de 2014 la presencia de las matemáticas solo se ha producido en el programa emitido en La 2 de TVE Órbita *Laika*, una serie de programas que, en clave de humor, intenta divulgar la ciencia y aproximar aspectos científicos a un público amplio. Las dos primeras temporadas, 2014 y 2015, el programa contaba, de la mano de Ángel Martín, con una sección propia de matemáticas en forma de clips presentada por Raúl Ibáñez, *Una de Mates*, y otra de física y tecnología presentada por Clara Grima. En las dos temporadas siguientes, 2016 y 2017, el presentador fue Goyo Jiménez y la presencia de las matemáticas, más diluida, corría a cargo de Santiago García Cremades. El programa siempre ha estado rodeado de polémicas por el día y la hora de emisión, los domingos casi de madrugada y habitualmente con retraso. En la nueva etapa, iniciada en 2018, el programa está presentado por un matemático, Eduardo Sáez de Cabezón.

Los documentales de matemáticas de carácter didáctico, aunque con fuertes componentes divulgativas, vivieron su mejor momento en nuestro país en la década de los 90 del siglo pasado, gracias en parte al Ministerio de Educación que creó el Proyecto Mercurio para introducir los medios audiovisuales en la enseñanza primaria y secundaria. El MEC compró y tradujo vídeos didácticos, y adaptó sus guías didácticas, realizados por productoras y televisiones extranjeras, BBC, TVOntario, Annenberg/CPB Projet, YorkshireTV, Open University,... con títulos como *Investigaciones matemáticas 10*, *Vectores*, *¿Contra todo pronóstico?*, *Ojo matemático*, *Reflexiones sobre cónicas*... Estos vídeos se distribuyeron en los centros públicos dependientes del Ministerio de Educación y Ciencia que participaban en el Proyecto Mercurio.

La Fundación Serveis y Àncora audiovisual, en Catalunya, se lanzaron a la aventura de producir, realizar y distribuir vídeos didácticos de matemáticas de producción nacional con títulos de amplia distribución como *Alicia en el país de las transformaciones geométricas*, *Triangles i cercles*, *Trigonometría*...

Mención especial en la realización de documentales propios merece la UNED y su Departamento de Matemáticas que, desde la década de los 90, viene realizando documentales de matemáticas de carácter divulgativo y dirigidos a un público que trasciende a sus estudiantes. De la mano de Emilio Bujalance, Ramón Tarrés, Juan Tarrés, Antonio Félix Costa o Javier Ordóñez han nacido títulos como *La duplicación del cubo en la Grecia clásica*, *Arabescos y Geometría*,

*Euler, la matemática finita, Euler, la matemática infinita, Cálculo diferencial, Matemáticas básicas: números enteros, etc.*

#### d) Matemáticas en blogs y redes sociales

En la última década, las redes sociales, los blogs y los canales de vídeo de internet se han convertido en herramientas claves para relacionarse e informarse. En el ámbito de la divulgación, estas plataformas permiten a profesorado, profesionales de la divulgación e instituciones llevar su mensaje a sus audiencias sin intermediarios y logran así reducir las barreras físicas de espacio y tiempo.

En España, los primeros **blogs de matemáticas** nacieron en torno al año 2006. Uno de los principales exponentes de la *blogosfera* matemática, *Gaussianos*, a cargo de Miguel Ángel Morales Medina, publicó su primer artículo en julio de ese año. Según explicaba entonces, su objetivo era “acercar esta ciencia que generalmente se considera tan abstracta, complicada y hasta carente de utilidad práctica”. Los artículos publicados tratan desde temas de investigación actual hasta historia de las matemáticas, pasando por juegos y curiosidades. La participación de los lectores y lectoras es muy importante, y a lo largo de los años ha conseguido generar una comunidad de personas que comentan y comparten los contenidos. En el año 2018 obtuvo el Premio Prisma 2018 a la Mejor Web/Red Social.

También en 2006, arrancó el blog *Matemáticas y sus Fronteras*, de Manuel de León, dentro de la plataforma Madri+d. Nació como “canal de información actual y accesible sobre la modelización matemática y la simulación numérica en ciencia y tecnología”, vinculado al grupo de investigación SIMUMAT. Con los años amplió su radio de acción y comenzó a presentar temas diversos sobre política científica, biografías de matemáticos y matemáticas, relaciones de las matemáticas con otras disciplinas, premios, investigaciones, reflexiones sobre la situación de las matemáticas, etc.

El blog *Mates y +* fue otro de los pioneros: desde 2006 comparte juegos matemáticos, muy orientados a la educación de las matemáticas. A finales de 2007 se creó el blog *Pasatiempos matemáticos en prensa*, que recopila juegos matemáticos aparecidos en periódicos. En 2008 nació el blog *Tito Eliatron Dixit*, que presenta temas de investigación e historia de las matemáticas y ciencias en general. Ese mismo año surgieron *Mateturismo* y *Mirada matemática*, en los que Ángel Requena incluye datos matemáticos de obras arquitectónicas, detalles decorativos,

obras públicas, etc., de todo el mundo; *Los matemáticos no son gente seria*, una recopilación de anécdotas matemáticas en clave de humor, de Juan Martínez-Tébar Giménez.

A partir del año 2010 hubo un gran aumento del número de blogs sobre matemáticas. Surgieron espacios dedicados especialmente a la relación de las matemáticas con la magia, el cine, fotografía, literatura, la prensa... Por otro lado, nacieron una gran cantidad de bitácoras dirigidas especialmente a profesorado y estudiantes, y estaban muy enfocados a la educación y la didáctica de las matemáticas.

Así mismo, se incorporaron las matemáticas en blogs generalistas de cultura científica, como en *NAUKAS, Ciencia, Escepticismo y humor*, que cuenta con la colaboración, en temas matemáticos, de Clara Grima, Pablo Rodríguez y Francisco Villatoro, o la sección “Matemoción”, de Raúl Ibáñez y Marta Macho, en el *Cuaderno de Cultura Científica*.

En un corto periodo de tiempo, el incremento del número de blogs sobre matemáticas (y, en general, sobre cualquier tema) se aceleró: gran número de profesores y profesoras, particulares e instituciones abrían sus propias bitácoras. Parecía que era un paso necesario para ser visible y responder a las demandas del público. Este enriquecimiento de la blogosfera matemática ha tenido muchas consecuencias positivas: acceso gratuito a materiales educativos de matemáticas, popularización de contenidos matemáticos y de los profesionales del campo, intercambio de información entre la comunidad matemática y las personas interesadas... Pero la necesidad o urgencia de crear un blog también ha generado malas prácticas: copia de materiales, repetición de los mismos contenidos, ausencia de originalidad, ruido, blogs abandonados, falta de planificación de contenidos, de objetivos y finalidad, ausencia de rigor... En la actualidad, el crecimiento se ha ralentizado y parece que van sobreviviendo los blogs que, por selección natural, deben quedar: los que tienen una visión, un enfoque, contenidos originales, y, sobre todo, una persona detrás (o un equipo) que los lleva de manera organizada y constante.

Por su parte, el crecimiento del uso de las **redes sociales** ha seguido un ritmo imparable durante estos años. Las redes son empleadas como altavoz para compartir temas relacionados con las matemáticas por particulares, instituciones, personal docente, profesionales de la divulgación... El resultado es una conversación en la que prima la inmediatez y el impacto, e intervienen voces muy

diferentes, que interactúan entre ellas y dan una sensación de proximidad a los lectores y lectoras. Las plataformas más populares son Twitter y Facebook, aunque Instagram ha ganado popularidad en los últimos años.

Twitter se fundó en 2007 y, a finales de 2008, aparecieron los primeros perfiles dedicados a matemáticas en España. El Mago Moebius, matemago y divulgador, y Tito Eliatron (José Antonio Prado), profesor de Matemáticas en la Universidad de Sevilla y divulgador, fueron posiblemente unos de los primeros en crear su perfil en ese mismo año. Gaussianos, perfil vinculado al blog, les siguió al año siguiente. Manuel de León, Antonio Pérez, Fernando Blasco y Santi García Cremades fueron de los primeros matemáticos en aparecer en redes (en 2010). También se creó el perfil de DivulgaMAT en este año.

Otras instituciones matemáticas pioneras en Twitter fueron la Federación Española de Sociedades de Profesores de Matemáticas (FESPM), la Red Española Matemática-Industria y el Departamento de Matemáticas de la Universidad Autónoma de Barcelona, que crearon sus perfiles en Twitter en 2011; en 2012 lo hizo el ICMAT, la Sociedad de Estadística e Investigación Operativa (SEIO) y el Centre de Recerca Matemàtica (CRM). A partir de 2012 se comenzó a extender el uso de la red entre instituciones y personas interesadas por la comunicación.

La mayoría de los usuarios emplea Twitter para hacer difusión de materiales de divulgación (propios o ajenos), a los que se hace referencia a través de enlaces, en los que se extiende la información facilitada. Las redes son, entonces, un escaparate de contenidos. Las instituciones comparten principalmente información de eventos o noticias propias, intercaladas con contenidos matemáticos de actualidad.

Algunos peligros de las redes sociales son la rápida difusión de errores e informaciones falsas, la apropiación de materiales ajenos o la banalización del mensaje matemático

Sin embargo, también hay perfiles que usan las redes para difundir directamente pequeñas píldoras de divulgación de las matemáticas. Así lo hace @dimates-UA, del grupo de divulgación matemática de la Universidad de Alicante, que creó el perfil en 2016 y que publica de forma periódica #dimatismos, en los que incluye citas de matemáticos, curiosidades de historia de la matemática, definiciones y *gifs* que muestran conceptos matemáticos..., y también problemas

matemáticos, presentados directamente en redes. También se está extendiendo el uso de hilos (varios mensajes vinculados), para publicar contenidos de divulgación en la red. Un buen ejemplo es @juliomulero, profesor de la Universidad de Alicante.

A pesar de las grandes ventajas de redes como Twitter, y otras similares, para la divulgación y comunicación de la ciencia, también tienen algunos peligros, como la rápida difusión de errores e informaciones falsas, la apropiación de materiales ajenos en busca de obtener rápidamente seguidores o la banalización del mensaje matemático.

La plataforma de vídeos **YouTube** también se ha convertido en una vía muy popular para la divulgación de la ciencia. Su irrupción ha supuesto un cambio de paradigma en la producción y distribución de contenidos matemáticos. En la actualidad se puede conseguir casi cualquier documental de matemáticas, actual o antiguo, a través de las redes sociales y en especial desde YouTube.

Además, a esto se suma la creación de contenidos propios, e incluso de formatos específicos de esta red. Entre ellos destacan los canales de *youtubers*: personas que, en principio con pocos recursos técnicos, hablan directamente a la cámara para presentar diversos temas. Algunos divulgadores matemáticos han saltado a este formato, consiguiendo un elevado número de seguidores a nivel internacional. El primero, aunque no específicamente de matemáticas, es el canal *QuantumFracture*, de José Luis Crespo. Actualmente ha superado el millón de seguidores, desde que comenzó en 2010 cuando el fenómeno *youtuber* apenas existía. Subió el primer vídeo de matemáticas en 2013 explicando el concepto de infinito mediante la paradoja de Hilbert.

*Derivando*, el canal de Eduardo Saénz de Cabezón, ganador del concurso de monólogos científicos Famelab de 2013, supera en pocos meses el medio millón de suscriptores. Cuenta con clips de unos cinco minutos de divulgación matemática en clave de humor.

Por otro lado, están contenidos como la serie *Troncho y Poncho* que presenta, con rudimentarios dibujos animados y guiones muy simples, conceptos básicos de las matemáticas, enfocados a estudiantes, y cuenta con unos 17.000 seguidores. Algunas instituciones, como el ICMAT, disponen de un canal en la red en el que comparten grabaciones propias (principalmente de divulgación), como la serie *It's a Risky Life!*, protagonizada por David Ríos, pero su impacto es bajo.

Otro canal específico de matemáticas es Matemática TV, en el que se recopilan vídeos de matemáticas de los más variados autores.

Lamentablemente, junto a canales divulgativos de matemáticas que son auténticas joyas han surgido canales de voluntariosos que utilizan YouTube como una vieja academia de barrio en la que cuelgan sus clases del modo tradicional cambiando la tiza y la pizarra por una pizarra digital.

Junto a YouTube, otras plataformas de vídeos y los canales temáticos en las televisiones digitales han impuesto un cambio radical en la forma de ver contenidos audiovisuales. Ordenadores, tabletas y hasta móviles han desplazado al viejo televisor familiar del salón y nos permiten ver los contenidos favoritos a cualquier hora y en cualquier lugar, incluso en las aulas. La posibilidad de acceder a documentales y programas de contenido científico y matemático, actuales o de épocas pasadas, se ha incrementado de forma exponencial.

### *1.2.5. Actividades divulgativas en la calle*

Las ferias de la ciencia persiguen fomentar valores ligados a la ciencia, la tecnología y la innovación entre los y las jóvenes, pero también cumplen con el objetivo más general de incrementar la cultura científica de la sociedad. Para ello actúan conjuntamente diferentes agentes: por un lado, profesorado y alumnado, pero también la comunidad científica investigadora, las familias, las entidades administrativas como ayuntamientos y comunidades autónomas y la sociedad en general, los visitantes a las ferias. De este modo se consigue dar una imagen global del sistema de ciencia y tecnología y, en concreto, de las matemáticas. Se busca ofrecer vivencias científicas a las personas participantes en las ferias, a ambos lados de las mesas, y es especialmente interesante la implicación directa y activa de toda la sociedad.

El formato poco habitual de presentación de la ciencia y la tecnología que se emplea en las ferias provoca la curiosidad y una especial afluencia de público. La localización de estos eventos y la participación de estudiantes contribuyen, además, a que las ferias tengan repercusión en los medios de comunicación, sobre todo, en los locales. Las redes sociales ayudan a extender la feria más allá del espacio físico en el que se desarrolla: mostrando su actividad en otros lugares gracias a los contenidos que se comparten a través de las mismas. En definitiva, estas actividades contribuyen a difundir las ideas y los conceptos matemáticos presentados, y con ello, a la alfabetización matemática de la po-

blación. Y lo cierto es que el público responde positivamente: su popularidad crece cada año.

Las ferias de la ciencia persiguen fomentar valores ligados a la ciencia, la tecnología y la innovación entre los y las jóvenes, pero también cumplen con el objetivo más general de incrementar la cultura científica de la sociedad

A finales de los años 90 del siglo pasado comenzaron a organizarse diferentes ferias de ciencia en España, modelo existente con anterioridad en otros países, y en particular, en Estados Unidos, a partir de la década de 1950. Estas ferias siempre han contado con actividades de matemáticas, tanto propuestas por los centros educativos como impulsadas por sociedades de profesorado de Matemáticas.

Una característica usual de las ferias de ciencia es, por una parte, que la explicación se suele llevar a cabo por estudiantes, que salen de las aulas y a su vez explican conceptos científicos a las personas visitantes, que reconocen y agradecen su esfuerzo y la implicación en estas tareas. Para el alumnado es un ejercicio motivador que lo convierte en protagonista de una actividad educativa de la que no solo es receptor, sino también, excepcionalmente, transmisor, y como tal le reconoce el profesorado que contribuye a la organización de la feria.

También entre las ferias de ciencia caben, al menos, dos modelos: en uno de ellos se atrae al público a un recinto ferial en un formato en el que se mezclan las actividades propiamente divulgativas de centros educativos e instituciones con la promoción de empresas del sector. El público que acude a estas ferias necesariamente tiene intención de asistir a ellas: a veces se planifican visitas organizadas desde los centros educativos. Este es el caso de *Madrid por la Ciencia*, iniciada en el año 2000 e interrumpida en 2009 hasta su recuperación en 2019.

El otro modelo es el de ferias en la calle, al aire libre, en el que se juntan los que acuden a propósito al lugar donde se celebra con los transeúntes que simplemente pasean por esa zona. En este caso, el público destinatario es más de carácter familiar que organizado. En ocasiones estas ferias son temáticas, convirtiéndose en realidad en actividades de ‘matemáticas en la calle’. Este es el caso del Día de la Ciencia en la Calle, que se celebra desde 1996 cada primavera en A Coruña.

En el caso específico de las ferias dedicadas a contenidos matemáticos, existen dos formatos: ferias generalistas y ferias temáticas de matemáticas, que tienen in-

tenciones y características similares. Las ferias de matemáticas también estimulan el aspecto lúdico de las matemáticas: las personas participantes deben exponer contenidos atractivos, originales y, si es posible, divertidos. A título de ejemplo, suelen presentarse contenidos como puzzles matemáticos, juegos de ingenio, papiroflexia, actividades sobre probabilidad, magia matemática, construcciones geométricas con materiales desarrollados por profesorado, entre otros.

Un formato con mucho éxito, que ha ido creciendo con el tiempo, es el concurso anual *Ciencia en Acción*, desarrollado desde el año 2001 y celebrado en diferentes sedes. Al tratarse de un concurso dirigido a estudiantes, profesorado y personal investigador y divulgador, hace que se junten en un mismo lugar y en un corto espacio de tiempo diferentes y novedosas propuestas de contenido científico y, en particular, matemático. Pero, además, permite involucrar a la población con programas divulgativos dirigidos a público general.

El impulso de los museos científicos ha sido muy relevante tanto en la creación como en la consolidación de ferias científicas, dirigidas a un público general. Al ya antes mencionado Día de la Ciencia en la Calle, en A Coruña, se sumó poco después, en 1997, la primera edición de la Feria de la Ciencia del Parque de las Ciencias de Granada. También en 2010, el Museo Nacional de Ciencia y Tecnología, en su sede de Madrid, inició una serie de ferias bajo la denominación de *Finde científico*, que se ha continuado ininterrumpidamente hasta la actualidad.

Otro punto de inflexión significativo han sido las conmemoraciones especiales que han impulsado actividades de divulgación, y ferias en particular. El año 2000 se recuerda por la celebración del Año Mundial de las Matemáticas, pero también representa el momento en el que comenzaron a realizarse dos importantes ferias científicas que sirvieron como modelo para otras: Exporecerca Jove, en Barcelona, y Madrid por la Ciencia, en Madrid. En 2002 comenzó la Feria de la Ciencia y la Tecnología en Murcia y en 2003, la Feria de la Ciencia en Sevilla. Que 2005 fuera el Año Internacional de la Física también contribuyó a un aumento de ferias de la ciencia en diferentes lugares. Así, en 2007 comienza Ciència al Carrer en Lleida.

Las ferias de ciencia se habían popularizado también, a pequeña escala, en centros educativos, montando su propia feria de ciencia e invitando a centros cercanos. Las matemáticas siempre han estado presentes en las ferias de ciencia escolares debido al escaso coste económico de materiales y a la disposición de muchos de los profesores y profesoras de esta materia. En el año 1997, se celebró

en Barcelona *Matemagnum*, feria lúdica de la matemática. Ese evento congregó a 1.500 personas en el Instituto Nacional de Educación Física de Catalunya. Se montaron cerca de 100 puestos y en cada uno de ellos un equipo de docentes presentaba una actividad matemática realizada en su centro, con la intención de que, entre todos los puestos, quedase cubierto todo el espectro educativo matemático. Si bien la actividad se promocionó y difundió entre docentes, también quedó abierta a transeúntes que disfrutaron con las actividades expuestas. Este evento tuvo únicamente una segunda edición en 1999.

En la última década ha cobrado especial impulso la organización de las “matemáticas en la calle”. Esta iniciativa ya existe en países de nuestro entorno. Merece mención especial la “Maths week” irlandesa, con organización de actividades simultáneamente en todo el país en diferentes espacios educativos y culturales y que cuenta con un apartado dedicado a matemáticas en la calle. En España, la Sociedad Andaluza Thales de profesorado de Matemáticas fue una de las pioneras en organizar y promover días en los que se sacan las matemáticas a la calle. Se organiza esta actividad también en diferentes ciudades andaluzas, como Andújar, Córdoba o Huelva.

Igualmente se ha realizado en Aragón: Huesca y Teruel han acogido ferias de matemáticas en la calle, y Zaragoza ha ido más allá, habiéndose diseñado itinerarios matemáticos en la ciudad.

Prácticamente en todas las ciudades se realizan o se han realizado ferias de matemáticas en la calle. Podemos destacar las de Galicia, Extremadura, Valencia, Castilla y León, Cataluña, Madrid y Canarias. El caso de Canarias es especial porque a través de su “comando matemático”, la Sociedad Isaac Newton monta pequeñas ferias *ad hoc* en espacios muy diversos, a lo largo de todo el año y buscando la sorpresa y el interés en el viandante.

Otros modelos divulgativos de matemáticas en la calle y que cada vez suscitan más curiosidad e interés, desde una perspectiva turística, es la introducción de recorridos que aúnan arte, patrimonio y matemáticas y que transmiten una imagen innovadora para el público general que ve las matemáticas como medio de expresión arquitectónica, artística y urbana: la geometría del trazado de las calles, los elementos decorativos, los modelos constructivos, la perspectiva. Itinerarios de este tipo se pueden hacer en ciudades como Palma de Mallorca, Granada, Zaragoza, Girona, Madrid y alguna ciudad más donde está implantada o se implantará en breve como consecuencia del éxito cosechado por las experien-

cias ya existentes. En suma, el turismo matemático es una nueva forma de cultura matemática para el público general. Recientemente se ha desarrollado, en la universidad de Frankfurt, el proyecto *MathCityMap*, aplicación para dispositivos móviles que genera mapas con actividades matemáticas, lo que hace muy cómoda la labor de diseño de rutas y actividades matemáticas en las ciudades.

Otro modelo divulgativo de matemáticas en la calle es la introducción de recorridos en las ciudades que aúnan arte, patrimonio y matemáticas

Miguel de Guzmán mostraba como uno de los problemas fundamentales en la educación matemática la “carencia de una alfabetización matemática de la sociedad”. Llevar las matemáticas a la calle, al encuentro de los espacios públicos, cotidianos, es un muy buen camino ya emprendido en nuestro país y que sería deseable que siga siendo defendido, impulsado y protagonizado por la comunidad científica y educativa.

#### 1.2.6. *Espectáculos matemáticos*

La divulgación científica ha salido de sus espacios habituales para presentarse también en espacios de ocio. En este sentido, podemos encontrar espectáculos donde la ciencia y, en particular, lo que nos atañe en este Libro Blanco, las matemáticas, constituyen la base sobre la que se han creado diferentes tipos de espectáculos, en especial, de magia.

Martin Gardner, a partir de 1956, realizó una estupenda labor relacionando matemáticas y juegos de magia a través de alguna de sus columnas en la revista *Scientific American*, traducidas al castellano en *Investigación y Ciencia*, pero no ofrecía actuaciones delante de público: no llevaba la magia a la escena. En España, Pedro Puig Adam era aficionado a la magia matemática, pero tampoco hacía espectáculos de ilusionismo. En este país, el pionero en aunar magia y matemáticas ha sido Pedro Alegría. Hoy en día, hay otros matemáticos que realizan espectáculos en los que la magia sirve para divulgar matemáticas, pero también en ocasiones magia “sin matemáticas”, como Fernando Blasco, José Muñoz, Carlos Vinuesa o Nelo Maestre.

También cumplen una función divulgativa los espectáculos de cálculo mental. A pesar de que las matemáticas no se deben reducir al cálculo, muchos niños y niñas se sienten atraídos por las matemáticas gracias a estos espectáculos, como

los que presenta Alberto Coto, campeón del mundo de cálculo y Récord Guinness en esta materia.

Otros espectáculos que conjugan la matemática y el humor son los desarrollados por el grupo Ars Binomium, formado por los profesores José Muñoz e Ismael Roldán, donde los conceptos matemáticos se enseñan de forma desenfadada y festiva.

También al mundo del teatro han llegado las matemáticas y, en particular, la divulgación de esta ciencia. A lo largo de estos años ha habido algunos interesantes proyectos teatrales surgidos del ámbito académico, algunos de los cuales se comentarán a continuación. Así mismo, también se han representado obras con contenido matemático en el circuito de teatro tradicional, como las representaciones de *Demostración*, de David Auburn, *Arcadia* de Tom Stoppard o la adaptación teatral de *El curioso incidente del perro a medianoche*, de Mark Haddon.

También al mundo del teatro han llegado las matemáticas y, en particular, la divulgación de esta ciencia

Una vez más, fue el mundo de la educación quien primero descubrió el potencial del teatro como herramienta didáctica y divulgativa. Ya antes del año 2000 nos encontramos algunas propuestas teatrales de algunos de los divulgadores, como las pequeñas piezas teatrales de Claudi Alsina, por ejemplo, *La Bit y el brujo de las letras*, del matemático canario Luis Balbuena, como *La creación de los números*, la obra *El país de los vectores*, del profesor canario José Antonio Martín Corujo o las piezas de los sevillanos Pepe Muñoz e Ismael Roldán, algunas recogidas en el libro *Teatromático* (Nivola, 2002).

Dos referencias obligadas sobre teatro y matemáticas son la sección homónima en la página web DivulgaMAT, de la RSME, escrita por Marta Macho, con la más amplia discusión sobre el tema, así como el grupo gallego *Dramatemática, matemáticas a través del teatro*, de Miguel Ángel Miras y Carmen Quintero, quienes han trabajado en la elaboración de materiales didácticos basados en el teatro, han elaborado charlas dramatizadas sobre algunas obras teatrales, como *Arcadia*, de Tom Stoppard, o la traducción al gallego de *Demostración*, de David Auburn.

A continuación, citaremos algunos proyectos teatrales más modernos relacionados con la divulgación matemática. El escritor, Antonio de la Fuente Arjona, publicó en 2010 la obra *La rebelión de los números* (Ediciones de la Torre,

2010). En el año 2011 el profesor de la Universidad Politécnica de Madrid, Paco Gómez, junto con los músicos Gutxi Haitz y Giovanna Farign crearon la pieza teatral *Materritmos (o el ritmo me mata)*, que aunaba matemáticas, música y humor. La profesora Marta Macho y el profesor Eneko Lorente, ambos de la Universidad del País Vasco, realizaron una adaptación, en 2013, de la obra de Anne Rougée *¿Son raras las mujeres de talento?*, sobre Marie Curie, Ada Lovelace y Emile du Chaletet. Francesc Rosselló y Patricia Trapero, de la Universitat de les Illes Balears, han creado, desde 2015, varias obras de teatro sobre probabilidad y estadística, como la pieza *Lo tuyo es puro teatro*. Dirigida a jóvenes menores de 14 años, desde la Universidad de Sevilla e interpretada por profesorado de esta universidad, se creó en 2016 la obra *Científicas: pasado, presente y futuro*. Un proyecto similar surge en la Universidad Pública de Navarra en 2018, *Yo quiero ser científica*. O en 2017, el ICMAT organizó la representación de la obra *El aumento*, de George Perec.

### 1.2.7. Divulgación y educación

A pesar del auge de las actividades de divulgación matemática en las redes sociales, en YouTube, en teatros y hasta en bares y cafeterías, hay un lugar en que las puertas siguen casi siempre cerradas a la divulgación: las aulas. La divulgación debería ser un instrumento eficaz para conseguir la motivación del alumnado y para mejorar su actitud ante las matemáticas. Mediante la divulgación se contextualiza y enriquece el conocimiento científico, la comprensión de las nociones matemáticas mejora si se conoce su génesis y sobre todo su utilidad. Sin embargo, la ausencia de preparación de la mayoría del profesorado en temas de historia y aplicaciones de las matemáticas en la vida real, al margen de los tópicos contenidos en los libros de texto, es una de las causas de esa ausencia de actividades de divulgación en las aulas. Si a esto añadimos unos programas con unos contenidos curriculares excesivos, con un enfoque más algorítmico y de aprendizaje de técnicas que de auténtica investigación en el aula no es de extrañar la escasa presencia de la divulgación matemática en los centros de primaria y de secundaria.

La simplificación que equipara las matemáticas únicamente a las matemáticas escolares es triste pero real. La inmensa mayoría de la población de nuestro país sigue asociándolas con la escuela, y con nada más. No existen otras matemáticas que las que *sufrieron* en las aulas del colegio o del instituto. Para esas personas,

la mayoría de la población, las matemáticas son solo eso: recuerdos inútiles de rutinas y procesos complicados que no han vuelto a utilizar en su vida.

Mientras tanto, los aspectos divulgativos tanto de la historia de las matemáticas, de sus influencias en la cultura occidental como del desarrollo de sus investigaciones y de sus aplicaciones en los distintos ámbitos físicos, sociales, económicos, políticos y tecnológicos siguen, incluso hoy, ausentes de las clases de Matemáticas en primaria y secundaria. El alumnado sigue aprendiendo algoritmos, técnicas y destrezas, conceptos y teoremas, sigue realizando miles de ejercicios rutinarios, idénticos, se examina por escrito con modelos de exámenes de hace décadas y la pregunta fundamental, la única que merece la pena responder de forma amplia, sigue flotando en el ambiente sin obtener respuesta: *¿para qué sirven las matemáticas?*

La única excepción a este enfoque curricular obsoleto fue la asignatura Taller de Matemáticas, incluida en el diseño curricular de la LOGSE como una asignatura optativa en la ESO. El inconveniente es que fue una asignatura optativa, es decir, muy poco estudiantado la elegía. Muchas CC. AA. ni la llegaron a aplicar y en otras acabó convirtiéndose en un refuerzo de matemáticas para alumnado con dificultades.

Las editoriales han intentado maquillar esta triste realidad, introduciendo en sus textos, habitualmente al principio de cada unidad, algunos fragmentos de la historia de las ideas que el estudiantado va a tratar y de los personajes que las desarrollaron. También incluyen, casi siempre al final, después de una lista interminable de cientos de ejercicios, alguna curiosidad o aplicación del tema estudiado. El profesorado en clase suelen pasar de estos contenidos de forma sistemática, sometido al deber de cumplir con un desmesurado temario. En las clases se explican matemáticas, no se hacen matemáticas; se adquieren rutinas, no se investigan hechos matemáticos, y sobre todo se enseñan contenidos aislados de sus contextos histórico y funcional.

La divulgación debería ser un instrumento eficaz para conseguir la motivación del alumnado y para mejorar su actitud ante las matemáticas

La principal iniciativa que ha tenido una repercusión alta en todo el Estado ha sido El Día Escolar de las Matemáticas, proyecto de la FESPM (Federación Española de Sociedades de Profesores de Matemáticas), que nació en el

año 2000 con motivo del centenario del nacimiento de Pedro Puig Adam, y que pretende organizar en todos los centros de primaria y secundaria una serie de actividades divulgativas en torno a un tema no curricular en cada edición. Alrededor de ese tema se organizan charlas, conferencias, exposiciones realizadas por el alumnado, actividades interdisciplinares o se organizan exposiciones con materiales externos. En cada edición, la FESPM distribuye entre los centros un cuadernillo explicando contenidos relacionados con el tema propuesto y planteando actividades a desarrollar por el estudiantado. Los temas elegidos tienen como objetivo acercar a los alumnos y alumnas unas matemáticas diferentes a las que habitualmente *disfrutan* en clase.

Otras iniciativas en las que personal docente y alumnado se movilizan para popularizar las matemáticas son las jornadas de matemáticas en la calle, organizadas por algunas de las sociedades de profesorado en colaboración con las administraciones locales, de las que ya se ha hablado anteriormente. Magia, juegos matemáticos, curiosidades, historia, objetos matemáticos, explicaciones del estudiantado... constituyen los materiales atractivos para acercar las matemáticas al gran público.

Por otra parte, entre los años 2006 y 2015, el programa *BBK-máticas, las matemáticas en las bibliotecas escolares*, que fue una colaboración entre la Real Sociedad Matemática Española, la Fundación BBK y el Gobierno Vasco, desarrollada por los profesores Raúl Ibáñez, Santiago Fernández y Pedro Alegría, llevó materiales (libros, juegos de ingenio, materiales constructivos, guías didácticas), exposiciones (“Los números en nuestras ciudades”, “Veo, veo... geometría cotidiana”, “El rostro humano de las matemáticas”, “Con A de Astrónomas”), talleres, conferencias y cuentacuentos, a unas 100 bibliotecas escolares de Bizkaia.

Las exposiciones itinerantes han supuesto, a lo largo de estas décadas, un excelente escaparate de divulgación matemática próximo a todo el alumnado al poder exhibirse sin grandes complicaciones en los propios centros.

La auténtica divulgación matemática debe comenzar en la escuela. La divulgación es un instrumento eficaz para conseguir la motivación. Ha de haber estudiantado ilusionado y motivado por el aprendizaje de la matemática, pero esta cualidad no debe considerarse innata. Mediante la divulgación se contextualiza y enriquece el conocimiento científico, y la comprensión de las nociones matemáticas mejora si se conoce su génesis y sobre todo su utilidad.

En la actualidad, el gran reto es hacer ver primero al equipo docente y luego a través de ellos a sus estudiantes que los verdaderos protagonistas de las mate-

máticas no son los teoremas, las fórmulas y los algoritmos, sino los libros, las revistas, los periódicos, los documentales, los programas de radio, la televisión, los vídeos, los museos de ciencias, las exposiciones temporales, las conferencias divulgativas, internet, el *software* informático, los juegos y los concursos y olimpiadas matemáticos.

Los maestros y maestras y el profesorado de Matemáticas de todos los niveles, desde infantil hasta la universidad, deben ser los instrumentos a movilizar en esta gran empresa.

#### *1.2.8. Matemáticas, universidad e investigación*

Como ya se ha mencionado, en países como Reino Unido, Alemania o Francia, entre otros, con una profunda tradición en investigación científica y matemática, la divulgación de la ciencia, en particular, de las matemáticas, ha sido una práctica habitual. Además, esta ha estado ligada desde sus inicios a la universidad y la investigación.

Sin embargo, la universidad y la investigación españolas han estado, hasta hace relativamente poco tiempo, en una situación completamente diferente. No se han implicado en la divulgación científica y han tenido una opinión negativa de la misma, percibiéndose además como una actividad menor, carente de interés y utilidad.

Los primeros pasos en la divulgación de las matemáticas en España se produjeron fruto de una preocupación por la enseñanza y aprendizaje de esta ciencia en la enseñanza no universitaria. La universidad, y el mundo de la investigación, no se implicaron inicialmente y cuando lo hicieron, a raíz del llamamiento internacional que se produjo de cara al Año Mundial de las Matemáticas 2000 por parte de IMU, International Mathematical Union, con el apoyo de UNESCO, fue tímidamente.

Desde la universidad, y la investigación matemática, se suele ver esta ciencia como algo elitista, solo apta para personas preparadas, con un alto nivel matemático. No se debe perder el tiempo en explicar o divulgar las matemáticas para el público general, ya que no está capacitado para entenderlas, ni es necesario, para esta ciencia o la sociedad, que lo haga. En el fondo están de acuerdo con la opinión, quizás generalizada en ese momento, de que “las matemáticas no son cultura”. Más aún, existe una opinión, en algunos sectores, de que la divulgación

matemática es algo para personas sin capacidad para la investigación matemática, que pueden perder su tiempo para esas cosas menores. Además, es algo que puede hacer, en su opinión, cualquiera.

Sin embargo, siempre ha existido dentro de la investigación matemática y, en general, la científica, una divulgación de “alto nivel”. Los matemáticos y matemáticas sí contaban, a través de conferencias y artículos, los frutos de sus investigaciones a colegas de otras áreas dentro de las matemáticas, distintas a las suyas, y a otros científicos y científicas en general. Pero llevar el conocimiento un poco más allá es una necesidad que la comunidad científica solo ha comenzado a asumir en tiempos recientes.

La comunicación social y la divulgación de las matemáticas siguen estando consideradas, en gran medida, como algo anecdótico, al margen de la universidad y la investigación

Poco a poco los grupos de investigación, la universidad y las políticas científicas han ido incluyendo entre las tareas, el divulgar la investigación matemática que se está realizando, en gran parte para responder a los requerimientos de las entidades financiadoras. De hecho, desde las administraciones tanto nacionales como europeas empieza a destinarse dinero para la divulgación, aunque ese dinero generalmente va a parar a los propios grupos de investigación y centros de investigación, y no directamente a las personas o grupos que realizan divulgación. Además, fundamentalmente está destinado, al menos sobre el papel, para divulgar la investigación realizada, aunque en muchas ocasiones acaba siendo simplemente un elemento publicitario.

Pese a estos tímidos avances, la comunicación social de las matemáticas y de la ciencia sigue estando considerada, por gran parte del personal investigador, como algo anecdótico, al margen de la universidad y la investigación. La universidad y las administraciones reconocen la importancia de esta labor divulgativa, ya que supone un acercamiento de la universidad y la ciencia a la sociedad, pero más como una campaña de publicidad hacia la sociedad, que como una responsabilidad social de difusión del conocimiento y la cultura de matemáticos y científicos.

Por este motivo, no existe un reconocimiento real de la labor divulgativa misma, ni en la universidad, ni por parte de las administraciones.

### 1.2.9. Reflexiones sobre la divulgación

Como hemos visto, en los últimos veinticinco años se ha producido un crecimiento notable de la divulgación de las matemáticas en España, pasando de una situación prácticamente de inexistencia, antes del Año Mundial de las Matemáticas, a un momento dulce, de un gran desarrollo y una cierta normalidad. Como ha quedado reflejado en los diferentes apartados, en los últimos veinticinco años se ha realizado un enorme trabajo en muchos aspectos relacionados con la divulgación de las matemáticas en España, pero pocas han sido las reflexiones que se han realizado sobre la misma.

Antes del Año Mundial de las Matemáticas 2000, en el ámbito de la educación matemática, principalmente desde las sociedades de profesorado de Matemáticas, ya se había iniciado una cierta reflexión sobre lo que en ese momento se solía denominar la “popularización de las matemáticas”. Por ejemplo, con motivo del ICMI (International Commission on Mathematical Instruction) de 1989, se realizó un seminario sobre la popularización de las matemáticas en el mundo, en el cual el profesor Miguel de Guzmán realizó una contribución sobre juegos y matemáticas.

La primera aproximación firme al problema que se produjo en España fue cuando la comunidad matemática se enfrentó al hecho de que había que desarrollar actividades divulgativas con motivo del Año Mundial de las Matemáticas. Las sociedades matemáticas y las de profesorado de Matemáticas, así como los diferentes centros educativos, tuvieron que plantearse qué actividades podrían y querían realizar con motivo del AMM2000. Pero fue una reflexión puramente práctica, con el fin concreto de diseñar el programa de aquel año.

Tras el AMM2000, en pleno desarrollo de la difusión de las matemáticas, la mayoría de los debates y reflexiones sobre la actividad divulgadora se realizaron a través de mesas redondas en congresos y cursos de verano. Fueron iniciativas interesantes, pero breves y más dirigidas a concienciar al profesorado presente que a marcar las líneas de una futura divulgación.

Existieron algunas excepciones. Por ejemplo, la editorial Grao, que publica *UNO. Revista de Didáctica de las Matemáticas* desde el año 1994, ha dedicado alguno de sus monográficos a la divulgación de las matemáticas, como *Divulgación del conocimiento matemático* (2003), *Matemáticas y medios de comunicación* (2008) o *Exposiciones matemáticas* (2009). Estas son reflexiones de personas ex-

pertas y con una gran experiencia en los diferentes ámbitos, pero no están acompañadas de ningún debate, ni intercambio de ideas, por lo que quedan como ensayos individuales y aislados.

En los últimos veinticinco años se ha realizado un enorme trabajo en divulgación de las matemáticas en España, pero pocas han sido las reflexiones que se han realizado sobre la misma

De manera singular, la Comisión de Divulgación de la Real Sociedad Matemática Española organizó, en el año 2004, un año después de su propia creación, en Donostia, las Jornadas sobre la popularización de la ciencia: las matemáticas. Fueron dos días en el que se generó un debate profundo, constructivo, destinado a reflexionar sobre la situación “actual” de la divulgación matemática en España y plantear los retos de los siguientes años. Se organizaron tres grupos de trabajo (Prensa y medios de comunicación, Educación e investigación y Museos, editoriales especializadas y revistas), en los que participaron 40 personas, de dentro y fuera de las matemáticas, como periodistas, editores y editoras, responsables de museos de la ciencia, profesionales de la política, educación, investigación, etc.

Las personas responsables de cada grupo enviaron un texto previo de trabajo a cada una de las participantes, para que estas personas llevaran al debate su propia reflexión, que sirviera de punto de partida. Así mismo, las conclusiones y propuestas de futuro de los diferentes grupos fueron expuestas la última tarde, para provocar una reflexión transversal entre las personas de los diferentes grupos. El debate y las conclusiones de cada uno de los grupos de trabajo se hicieron públicos a través del libro: *Divulgar las Matemáticas* (Nivola, Ciencia Abierta, 2005). Además, las conclusiones de estas jornadas marcaron algunas de las políticas divulgativas de los siguientes años como, por ejemplo, la relación con los medios de comunicación o la contratación de gabinetes de prensa para eventos como el ICM2006 o de responsables de comunicación en centros de investigación matemática, entre otras.

Otro ejemplo de reflexión organizada fue el curso de verano de la UIMP (Universidad Internacional Menéndez Pelayo), dentro de la Escuela de Educación Matemática Miguel de Guzmán, que organizan la Real Sociedad Matemática Española y la Federación de Sociedades de Profesores de Matemáticas, fue “Enseñar divulgando” (2009). Allí tuvo lugar una reflexión sobre la relación entre la divulgación y la enseñanza de las matemáticas, tanto en la educación secundaria, como en la universitaria, y de la utilización de la divulgación de las

matemáticas en el aula como una herramienta para la enseñanza de esta ciencia. Las ponencias del curso fueron recogidas en una publicación electrónica del Ministerio de Educación, *Escuela de educación matemática Miguel de Guzmán: Enseñar divulgando*.

Sin embargo, tras estas experiencias, no se ha vuelto a repetir nada parecido en nuestro país, pero tras dos décadas de pleno desarrollo y viendo el momento en el que se encuentra la divulgación de las matemáticas, con nuevos elementos en juego, como la incorporación de las redes sociales o el inicio del reconocimiento de la importancia de esta labor para la sociedad, es de sobra necesario producir otra reflexión conjunta sobre el tema.

## 2. FUTURO

### 2.1. Propuestas de futuro

La Real Sociedad Matemática Española ha jugado un papel fundamental en el desarrollo de la divulgación matemática en España en los últimos veinticinco años. Mirando hacia el futuro, la RSME no solamente debe trabajar por la difusión de la cultura matemática y la comunicación de esta ciencia, como ya lo ha hecho hasta la actualidad, sino que debería seguir tomando una postura de liderazgo en el desarrollo de políticas de divulgación científica.

En estos momentos es fundamental *afianzar la divulgación de las matemáticas*. Es muy importante darle estabilidad al gran desarrollo que se ha producido en todo este tiempo, dotándolo tanto de medios económicos como de espacio propio dentro de las instituciones matemáticas. Así mismo, *no debemos estancarnos*. Hay muchos campos en los que hay que seguir avanzando en la divulgación, por ejemplo, en la presencia de las matemáticas y de la ciencia en la televisión, o una mayor incorporación de las matemáticas a los museos de la ciencia. Hay que seguir construyendo una divulgación matemática que incorpore el uso de las nuevas tecnologías y de las redes sociales como potentes herramientas de comunicación, pero sin perder de vista los elementos esenciales de la divulgación. La divulgación científica debe incorporarse a la cultura y, por tanto, ser capaz de evolucionar junto a ella.

En este Libro Blanco de las Matemáticas en España, se plantean una serie de propuestas de política matemática, con el objetivo de mejorar el futuro de la divulgación de las matemáticas en España y de las matemáticas en su conjunto:

### *a) Reflexión sobre la divulgación de las matemáticas*

Tras las Jornadas sobre la popularización de la ciencia: matemáticas organizadas por la RSME en 2004, no ha habido otro esfuerzo para reflexionar de forma profunda sobre la situación de la divulgación de las matemáticas en España. En la actualidad, han surgido nuevas herramientas de comunicación como son las redes sociales (blogs, YouTube, Twitter, Instagram, Facebook, etc.), los monólogos científicos o las conferencias TED; se han creado dos museos de las matemáticas; se está organizando una red de personas que trabajan en la divulgación de las matemáticas (DiMA)... El contexto también es diferente, no hay duda de que existe un auge de la divulgación científica en general y los medios de comunicación están más abiertos a comunicar la ciencia. Todo ello hace necesario realizar una nueva reflexión, llevada a cabo por varios grupos de trabajo, cuyos debates y conclusiones sean recogidos en una nueva publicación, dirigida a evaluar el estado actual de la divulgación de las matemáticas y mirar hacia el futuro, con propuestas que puedan servir de catalizadoras de la divulgación de las siguientes décadas. En gran medida, el presente Libro Blanco de las Matemáticas ha puesto las bases para esa reflexión constructiva.

### *b) Redes de divulgación y comunicación de las matemáticas*

Debido al crecimiento, más que significativo, de la divulgación matemática en los últimos veinte años y al cada vez mayor interés del público por esta ciencia, la creación de redes relacionadas con la divulgación y comunicación de las matemáticas es muy importante y completamente necesaria. Estas estructuras deben fomentar la reflexión, creación y trabajo, compartir prácticas y materiales, organizar escuelas y talleres de divulgación que permitan contribuir a la formación de nuevos profesionales en estos campos, desarrollar proyectos nacionales, proponer nuevas actividades o colaborar en el proceso creativo de nuevos elementos y herramientas para la divulgación. La Real Sociedad Matemática Española debería fomentar la creación y desarrollo de estas redes divulgativas, liderándolas o dándoles apoyo, en función de los casos y las necesidades, pero siempre con una actitud activa y positiva respecto de las mismas.

Un ejemplo actual está siendo la creación de la red de divulgación matemática DiMa (<http://dima.icmat.es/>), formada por divulgadores y divulgadoras de las matemáticas en España. La RSME es una de las instituciones que está dando apoyo a esta red y a las acciones que desarrolla, como el manifiesto publicado en

junio de 2018, el primer congreso de la red (mayo 2018) o la primera escuela de divulgación de las matemáticas (junio 2019), y es fundamental que así sea.

Otras posibles redes de futuro podrían incluir una red de museos y salas de exposiciones de matemáticas, con el objetivo de compartir exposiciones existentes, crear nuevas exposiciones de forma conjunta o trasladar exposiciones internacionales al territorio español, exposiciones como “¿Por qué las matemáticas?” o “Imaginary” han sido ejemplos significativos.

### *c) Museos de la ciencia*

Hasta hace poco las matemáticas prácticamente no existían en los museos y casas de las ciencias en España. Por suerte, esta situación está cambiando, aunque es un proceso muy lento (véase el apartado ‘Exposiciones matemáticas y museos’). La RSME debería promover una mayor relación y un diálogo directo con los museos y casas de las ciencias de España, o con la red que las engloba, animándolos a avanzar más rápido hacia una situación de normalidad, en la cual en los museos se vean las matemáticas como una parte importante dentro de la ciencia, y prestándose a colaborar con ellos en la organización de exposiciones o salas de matemáticas.

Los museos de la ciencia fueron uno de los temas de trabajo en la mencionada jornada de reflexión de 2004 sobre la divulgación de las matemáticas, y debería serlo en la nueva reflexión que se planteaba más arriba. Así mismo, podría ser el punto de partida para la creación de un grupo de trabajo permanente, con reuniones periódicas, con los museos y casas de las ciencias, o establecer convenios de colaboración con algunos de estos museos.

Por otra parte, un elemento muy importante en el presente es la creación de museos de matemáticas, como el Museo de Matemáticas de Catalunya (MMA-CA) o el recientemente abierto *Museo de Matemáticas Monasterio de Casbas* en Aragón, y la RSME debe establecer una relación fuerte y colaborativa con los mismos, firmando convenios, compartiendo exposiciones de la sociedad o participando en la creación de nuevas exposiciones y contenidos.

### *d) Los medios de comunicación*

Uno de los elementos importantes que se debatieron en 2004 fue la relación de las matemáticas con los medios de comunicación. Una de las propuestas de futuro

que se realizó, y que realmente llegó a la comunidad matemática, fue la creación de gabinetes de comunicación de las sociedades matemáticas, de los grandes eventos (como el Congreso Internacional de Matemáticos en 2006) y de otros organismos, como los centros de investigación o las sociedades matemáticas.

A pesar de lo mucho que se ha avanzado en este aspecto, ha llegado el momento de realizar un nuevo avance en este campo. Por desgracia, los gabinetes de comunicación existentes, a pesar del gran trabajo que están realizando, no siempre consiguen que las noticias matemáticas tengan la repercusión que deberían tener en los medios de comunicación, y funcionan de manera muy dispar en cada institución. Por este motivo, se hace necesario el diseño de un Plan Nacional de Comunicación de las Matemáticas que englobe a las sociedades matemáticas, los departamentos y las facultades de Matemáticas, así como a los centros de investigación, y a sus gabinetes de comunicación, y la creación de una estructura conjunta con una mayor fuerza en el contacto con los medios de comunicación, que proporcione material y contactos a los mismos.

#### *e) Imagen pública de las matemáticas y matemáticos*

Es fundamental realizar un análisis profundo de la imagen que estamos proyectando de nuestra disciplina. ¿Es realista? ¿Es atrayente? ¿Para quién sí, y para quién no? ¿Estamos reforzando estereotipos? Estas cuestiones tienen una importancia crucial en relación con cuestiones de inclusión en ciencia, y pueden ayudarnos a mejorar nuestras acciones de difusión.

#### *f) Divulgación más allá de la divulgación*

Sería interesante incidir en la difusión de contenidos matemáticos como parte de contenidos culturales de uso masivo, como son la televisión, la prensa generalista, las exposiciones culturales, fuera de los espacios reservados exclusivamente para la ciencia. Para ello, es crucial contar con la colaboración de profesionales de diversos sectores que quieran trabajar de forma colectiva para crear un producto cultural que incorpore las matemáticas como un elemento narrativo más.

#### *g) Estudiantes de matemáticas*

Una de las reflexiones compartidas por muchas de las personas que han trabajado en la divulgación de las matemáticas en los últimos años es el enorme

beneficio que supone para los jóvenes que están realizando el Grado de Matemáticas, pero incluso también otros grados científicos y no científicos, su participación en las actividades de divulgación y comunicación de las matemáticas, tanto para su formación como futuras científicas y científicos, y profesionales en general, pero también en su desarrollo personal global. Así mismo, su participación en las actividades divulgativas, como exposiciones, talleres o ferias de la ciencia, entre muchas otras, es muy enriquecedora para las propias actividades.

Por este motivo, hay que seguir trabajando en la incorporación de la juventud a las futuras actividades divulgativas y de comunicación de las matemáticas. Así mismo, sería muy interesante que existiese una cierta formación dirigida a estas personas dentro de la propia oferta formativa de las universidades, e incluso recoger, de alguna manera, su experiencia en estas actividades.

Teniendo en cuenta las experiencias pasadas, sería interesante realizar una reflexión dentro de la RSME, pero también en colaboración con la Asociación Nacional de Estudiantes de Matemáticas, sobre estas cuestiones: ¿Cómo formar a estos jóvenes? ¿Dónde? ¿Por quién? ¿En qué contextos? ¿Cómo recoger sus experiencias y aprendizajes? Una labor que debería llevarse a cabo conjuntamente con la recientemente creada Comisión de Jóvenes de la RSME junto a la Comisión de Divulgación.

#### *h) Estudiantes de otros grados*

Sería interesante incluir, dentro de la oferta formativa de las universidades, cursos de matemáticas de diferentes niveles, que permitan a los estudiantes de diferentes grados incrementar su cultura matemática. Se podrían ofertar cursos de matemáticas y arte, de historia de las matemáticas para ingenieros/as, de pensamiento matemático para cualquier tipo de estudiante, etc.

#### *i) Reconocimiento de la labor divulgativa y de comunicación de las matemáticas*

El gran avance que se ha producido en el ámbito de la divulgación y comunicación de las matemáticas en las dos últimas décadas no ha llevado asociado un reconocimiento desde las instituciones académicas (centros de educación primaria y secundaria, universidades, centros de investigación) o los diferentes gobiernos de la labor desarrollada por muchos profesores y profesoras de Matemáticas.

Hay un cierto acuerdo, por parte de las instituciones, de la necesidad social de realizar una difusión de la cultura científica y matemática, y del gran beneficio que supone a diferentes niveles, pero no se ha sabido, o no se ha querido, crear y gestionar vías de reconocimiento de esta labor divulgativa. De forma que, en muchas ocasiones en estas instituciones, o desde los gobiernos, se demanda la colaboración para la divulgación y comunicación de las matemáticas, y de la ciencia en general, pero sin que exista una retribución por dicha labor, e incluso, siendo penalizadas en sus otras labores, educativas e investigadoras.

La RSME debería exigir a instituciones académicas y gobiernos la creación de diferentes formas de reconocimiento de esta labor divulgativa, adaptadas a las diversas circunstancias existentes. Por ejemplo, podría instaurarse un sexenio específico de divulgación del conocimiento (incluido el matemático y científico), que realmente se centre en esta importante labor, y no sea una especie de bazar de las sorpresas. Así mismo, desde los centros de educación primaria, secundaria y universitaria debe existir un reconocimiento de este trabajo, y no una penalización, como en muchas ocasiones ocurre. El reciente convenio entre la RSME y la FECYT podría ayudar a discutir estos aspectos.

#### *j) El trabajo de la divulgación*

La cuestión de la gestión de los eventos de divulgación es un problema que hay que tener en cuenta, ya que habitualmente este trabajo recae sobre las personas que desarrollan la divulgación, en muchos casos profesoras y profesores, que dedican parte de su tiempo a esta labor.

En relación con este problema, pero también con otras cuestiones relacionadas, sería interesante que en la RSME se llevase a cabo una reflexión sobre las empresas que existen en el ámbito de la divulgación matemática, sobre el futuro de las mismas, sobre cuál debería ser su relación con estas empresas o si esta debería promover la creación de una empresa vinculada directamente a la RSME.

#### *k) Premio Nacional de Divulgación*

De nuevo, ya en la reflexión de 2004 sobre la divulgación de las matemáticas en España, se planteó la necesidad de crear un premio nacional a la divulgación de las matemáticas. La organización de este premio debería llevar asociada su

comunicación a la sociedad, en particular, a través de los medios de comunicación. Así mismo, desde la RSME debería plantearse quién debería promover y conceder este premio, la propia Sociedad, el Comité Español de Matemáticas, que agrupa a todas las sociedades matemáticas de España, o incluso debería promoverse la existencia de un Premio Nacional de Divulgación de la Ciencia, organizado por los diferentes gobiernos, siendo uno más de los Premios Nacionales ya existentes.

Relacionado con esta última reflexión, sería interesante presionar a los diferentes gobiernos a que fuesen más activos en la divulgación y comunicación de la ciencia, incluidas las matemáticas. En particular, que se diseñara un *Plan Nacional de Divulgación* de las Ciencias, o del Conocimiento, en general, pero que tuviese en cuenta a las personas e instituciones que realizan estas labores, y no se quedase en una simple declaración institucional y en la financiación de actividades más relacionadas con la publicidad institucional y gubernamental, que con la difusión del conocimiento y la cultura.

Teniendo en cuenta que muchas de las decisiones políticas relacionadas con la divulgación de las matemáticas, y de la ciencia, en general, las toman las personas que están dentro de la política, sería interesante promover una mayor relación con el mundo de la política. En este sentido, la RSME debería participar, como institución o a través de algunas de las personas vinculadas a ella, en actividades que ya existen, como “Ciencia en el Parlamento”, o que se organicen en el futuro. Así mismo, sería interesante la organización de unas jornadas de “*política y matemáticas*”, en la cual puedan reflexionar conjuntamente personas de ambos ámbitos, la política y las matemáticas.

Para finalizar, en relación a todo lo anterior, sería interesante promover la organización de un *Congreso Nacional de Divulgación y Comunicación de las Matemáticas*, en el que se compartieran experiencias, se reflexionase sobre temas de interés, se destacaran iniciativas concretas, etc.

Así mismo, debería plantearse dentro de la RSME, la conveniencia de la creación física (que, por supuesto, lleve asociada una parte digital) de un *repositorio de materiales divulgativos*. Este proyecto necesitaría de una importante financiación, tanto para la existencia de un lugar físico, pero, sobre todo, para el estudio, recopilación, clasificación y difusión de los materiales y las acciones divulgativas.

## 2.2. Decálogo de la divulgación matemática

Se termina esta reflexión con un decálogo sobre la divulgación de las matemáticas.

1. *Necesidad social.* La divulgación matemática es una necesidad social. La ciudadanía de una sociedad avanzada necesita un cierto conocimiento de matemáticas para desenvolverse eficazmente. Hasta hace muy poco tiempo, e incluso en la actualidad, existe un desencuentro entre la sociedad y la comunidad matemática. En los últimos años esta situación empieza a cambiar con un notable esfuerzo de divulgación para acercar las matemáticas a la sociedad.

2. *Cultura matemática.* La sociedad, pero también la comunidad matemática, deben entender que las matemáticas son una parte fundamental de la cultura y de la historia de la humanidad. Además, los nuevos cambios y retos tecnológicos hacen necesaria una mejor formación y cultura matemática. Esta cultura matemática debe ser lo más inclusiva posible.

3. *Cambio de contexto.* La divulgación es algo más que un ejercicio de traducción a un lenguaje popular de conocimientos elaborados en registros técnicos muy específicos. Su objetivo es crear un nuevo contexto comunicativo asequible a un público masivo de los conocimientos creados en un contexto muy especializado.

4. *Divulgación de calidad.* Para realizar una buena divulgación matemática es imprescindible conocer y dominar de forma rigurosa los conocimientos y aplicaciones que se quieren transmitir. Un divulgador o divulgadora con un conocimiento superficial del tema nunca podrá hacer una divulgación de calidad.

5. *Comunicación y empatía.* No basta con ser una persona experta en la materia a divulgar, hay que saber comunicar los conocimientos de una forma atractiva al tiempo que asequible para el público. Como decía Cardano: “Se puede ser ameno cuando se habla de matemáticas”. Sea cual sea el soporte y el medio la divulgadora o el divulgador ha de ser un buen comunicador y estar en sintonía con el público receptor. Esto no significa que forzosamente la divulgación se tenga que producir en clave de humor.

6. *Adaptarse al medio.* La divulgación de las matemáticas puede y debe emplear diversos canales para acercarse al público, y en cada caso debe adaptar su mensaje a las características del medio.

7. *El papel de las divulgadoras y divulgadores.* Con la aparición de nuevos canales de divulgación, redes sociales, YouTube, televisión, radio, prensa, actuaciones en teatros, bares..., el número de personas dedicadas a la divulgación matemática ha crecido exponencialmente. Y no siempre para bien. La popularidad que propician ciertos medios hace que en algunos casos sea fácil caer en la tentación de invertir las prioridades colocando al personaje muy por encima del contenido a divulgar. La popularidad del divulgador o divulgadora debe estar cimentada por la calidad de lo divulgado.

8. *Divulgación y educación.* La divulgación debe empezar en la escuela. La divulgación matemática no puede ser algo ajeno y enfrentado a la educación matemática escolar. La divulgación debe ser una herramienta didáctica que permita al alumnado conocer la historia, la evolución y las aplicaciones de los temas que estudian en clase. Las profesoras y profesores tienen que ser los primeros divulgadores.

9. *Reconocimiento social y profesional de la divulgación.* En nuestro país, las tareas de divulgación se han mirado con cierto desdén desde la "Academia". Algo muy alejado de la situación en el mundo anglosajón, en el que los y las buenas divulgadoras gozan de prestigio y reconocimiento en las esferas académicas e investigadoras. El trabajo personal, aislado y voluntarista de los que hasta ahora se han dedicado a la divulgación no es suficiente para cubrir esa labor social. Se impone exigir medidas para que los trabajos de divulgación tengan el reconocimiento profesional adecuado.

10. *A divulgar también se aprende.* La cultura de la divulgación matemática no surge por generación espontánea. La puesta en común de experiencias previas y la definición de objetivos estratégicos comunes hacen que iniciativas como la creación del grupo DiMa de divulgación matemática, la celebración de congresos específicos de divulgación y la puesta en marcha de iniciativas de formación como la I Escuela de Divulgación Matemática, celebrada recientemente en Castro Urdiales, marquen un camino en el que hay que avanzar.

"La tarea fundamental y general de la comunidad matemática consiste en contribuir de modo efectivo al desarrollo integral de la cultura humana" (Miguel Guzmán)

# INTERNACIONALIZACIÓN DE LAS MATEMÁTICAS

Manuel de León Rodríguez (Coordinador)

Instituto de Ciencias Matemáticas, CSIC  
Real Academia de Ciencias

## 1. INTRODUCCIÓN

Este informe trata de cubrir varios objetivos. En primer lugar, crear un mapa de las representaciones internacionales relacionadas con las matemáticas, tanto en el ámbito europeo, como en el internacional, sin olvidar nuestros lazos históricos con la matemática latinoamericana.

Un segundo objetivo es el de sugerir posibles sinergias entre los diferentes actores españoles, a fin de que esa representación internacional sea más potente y consiga un mayor impacto.

Finalmente, y relacionado con el segundo objetivo, se trata de diseñar un manual de buenas prácticas que ayuden a incrementar esas representaciones y hacerlas más efectivas.

Vamos a centrarnos en las características de la representación internacional de las matemáticas españolas. No estamos tratando únicamente de la representación individual de los matemáticos españoles<sup>1</sup>, sino que hablamos de la representación institucional, basada en la pertenencia a organismos internacionales. Y, cómo no, también en las matemáticas y matemáticos españoles integrados en instituciones internacionales en sus diferentes comisiones, bien haya sido a título individual o por una acción colegiada de las sociedades matemáticas españolas y/u otras instituciones nacionales.

La doctrina tras estos objetivos es la de trabajar tratando de favorecer esa representación con una estrategia de colaboración interna en España: sociedades,

---

<sup>1</sup> Si es importante, sin embargo, no desaprovechar los contactos individuales de los y las matemáticas.

centros de investigación... más allá de temáticas e intereses particulares, y en el convencimiento de que una adecuada representación internacional redundará en un beneficio colectivo para toda la comunidad matemática española.

Nos referiremos en este estudio a una representación en varios niveles:

- En el ámbito educativo.
- En el investigador.
- En lo que se refiere a aplicaciones y transferencia del conocimiento matemático.
- En organismos multidisciplinares.
- Y a través de organismos interpuestos (por ejemplo, en el International Science Council - ISC, mediante la International Mathematical Union - IMU o España como país miembro).

Y hablamos además de una representación en varios ámbitos geográficos:

- Europa.
- Latinoamérica.
- Mundial.

## 2. LA EDUCACIÓN E INVESTIGACIÓN EN EDUCACIÓN MATEMÁTICA

La representación en los temas educativos (tanto en lo que atañe al profesorado de enseñanza secundaria y bachillerato como en el de la investigación en educación matemática) se articula en Europa, fundamentalmente, a través de dos sociedades: la Federación Española de Sociedades de Profesores de Matemáticas (FESPM) y la Sociedad Española de Investigación en Educación Matemática (SEIEM). Es también un tema que afecta en gran medida a los intereses de la Real Sociedad Matemática Española (RSME) y a otras sociedades en menor medida.

Las sociedades supranacionales son en Europa, la European Society for Research in Mathematics Education (ERME) y en Iberoamérica, la Federación Iberoamericana de Sociedades de Educación Matemática (FISEM).

## 2.1. European Society for Research in Mathematics Education (ERME)

(<https://www.mathematik.uni-dortmund.de/~erme/>)

ERME se funda en una reunión que celebraron entre el 2 y el 4 de mayo de 1997 representantes de 16 países europeos en Osnabrueck, Alemania, con el objetivo de promover la comunicación, la cooperación y colaboración en la investigación en educación matemática en el ámbito europeo.

Una de las actividades más relevantes es la organización de los Congresos ERME (ERME Conferences), con su acrónimo CERME. De hecho, es en el primer CERME, en agosto de 1998, en Osnabrueck, cuando se oficializa la fundación de ERME.

Las tres “ces” de ERME (comunicación, cooperación y colaboración) se reflejan en sus actividades: los congresos CERME, las Young ERME Summer Schools y las ERME Topic Conferences. De todas estas actividades surgen materiales e iniciativas que ERME comparte con todos sus socios.

La Sociedad apoya al alumnado graduado para prepararlo como futuros investigadores e investigadoras en educación matemática, mediante congresos, escuelas de verano, información de los grados, másteres y doctorados a este respecto, intercambios de profesorado y estudiantado, información sobre las oportunidades de puestos postdoctorales y colaboración europea para la presentación de tesis doctorales.

ERME apoya además otras actividades que ayudan a cumplir los objetivos fundacionales.

La pertenencia a ERME es individual, con cuotas muy modestas. La representación se hace por seis regiones europeas, encuadrándose España en la del suroeste, con Portugal, Francia, Italia y Malta. En la historia de ERME, la representación española en el Comité Ejecutivo se reduce a la de Marianna Bosch, en el periodo 1998-2005. Esta misma persona organizó el CERME 4 en Sant Feliu de Guixols, en 2005. En 2016 se constituyó también el ITADS, First ERME Topic Conference on Anthropological Theory of the Didactic, en Castro-Urdiales, siendo el organizador local Tomás Ángel Sierra Delgado (Universidad Complutense de Madrid) y, formando parte del Comité de Programa, Marianna Bosch y Francisco Javier García. La FESPM ha intentado asociarse institucionalmente pero las cuotas son altas en este caso y no ha considerado necesarios los servicios que pueden ofrecer a los que ya ofertan por su cuenta.

## 2.2. Federación Iberoamericana de Sociedades de Educación Matemática (FISEM) (<http://www.fisem.org/>)

Como se informa en sus Estatutos fundacionales, bajo la FISEM “se constituye una Federación a la que podrán adherirse todas aquellas sociedades, asociaciones o federaciones de ámbito nacional que, por voluntad propia, deseen integrarse en la misma y que tengan por fin la mejora del aprendizaje y la enseñanza de las Matemáticas en todos sus niveles”. Obviamente, nos referimos al ámbito iberoamericano. Esta es la lista de sociedades que corresponden a estos trece países (Argentina, Bolivia, Brasil, Colombia, Chile, Ecuador, España, México, Paraguay, Perú, Portugal, Uruguay y Venezuela):

- Asociación Nacional de Profesores de Matemáticas –ANPM–.
- Asociación Mexicana de Investigadores del Uso de Tecnología en Educación Matemática –AMIUTEM–.
- Asociación Peruana de Investigación en Educación Matemática –API-NEMA–.
- Sociedad Argentina de Educación Matemática –SOAREM–.
- Sociedade Brasileira de Educação Matemática –SBEM–.
- Sociedad Chilena de Educación Matemática –SOCHIAM–.
- Federación Española de Sociedades de Profesores de Matemáticas –FES-PM–.
- Sociedad Peruana de Educación Matemática –SOPEMAT–.
- Associação de Professores de Matemática –APM–.
- Sociedad de Educación Matemática de Uruguay –SEMUR–.
- Sociedad Boliviana de Educación Matemática –SOBEDM–.
- Comité de Educación matemática de Paraguay –CEMPA–.
- Sociedad Ecuatoriana de Matemáticas –EDEM–.
- Asociación Colombiana de Educación Matemática –ASOCOLME–.
- Comité Latinoamericano de Matemática Educativa para la República Dominicana –CLAMED–.
- Sociedad Cubana de Matemática y Computación –SCMC–.
- Asociación Venezolana de Educación Matemática –ASOVEMAT–.

La FISEM se fundó el 2 de julio de 2003, y al contrario que en ERME, la representación española en FISEM es de mucha relevancia, ya desde la misma fundación. Esta representación se hace a través de la FESPM. De hecho, se puede ver en la actual Junta de Gobierno:

- Presidenta: Yolanda Serres Voisin (Venezuela - ASOVEMAT).
- Vicepresidente: Gustavo Bermúdez (Uruguay - SEMUR).
- Secretario general: Agustín Carrillo de Albornoz (España - FESPM).

Además, el actual presidente de la FESPM, Onofre Monzó, es vocal de esa Junta.

Entre sus actividades más representativas, están las siguientes:

El Congreso Iberoamericano de Educación Matemática (CIBEM), que se celebra cada dos años. De hecho, la VIII edición del Congreso Iberoamericano de Educación Matemática, VIII CIBEM, se celebró recientemente en Madrid (10 al 14 de julio de 2017), y en él se dieron cita más de 1.600 docentes de 16 países. Sin duda, este ha sido uno de los congresos educativos más relevantes de los últimos años. Pero hay que añadir que ya el I CIBEM se celebró en España, organizado por la FESPM, en Sevilla en 1990 (aunque entonces no se había creado todavía la FISEM).

La revista digital *UNIÓN* es el órgano de difusión de la FISEM, proyecto presentado por sus fundadores, los españoles Luis Balbuena y Antonio Martín (directores desde 2005 a 2008), junto al equipo colaborador constituido por Alicia Bruno, Dolores de la Coba, Carlos Duque, Antonio Ramón Martín Adrián e Inés Plasencia, y que se inició con la presentación del primer número en marzo de 2005. *UNIÓN* invita especialmente a la comunidad iberoamericana a colaborar en el fortalecimiento de la divulgación de proyectos que animen a la reflexión y el debate en beneficio de los sistemas educativos y la formación docente.

Digamos, finalmente, que en el ámbito europeo la European Mathematical Society creó un Comité de Educación al que pertenece la española, Ana Serradó Bayés.

En el ámbito internacional, la articulación en temas educativos de las sociedades matemáticas españolas se realiza a través de la Comisión de Educación del Comité Español de Matemáticas (CEMAT), que interactúa con la corres-

pondiente comisión de IMU, la International Commission for Mathematical Instruction (ICMI).

### 2.3. International Commission on Mathematical Instruction (ICMI)

ICMI fue creada previamente a IMU, en el International Congress of Mathematicians (ICM) celebrado en Roma en 1908, con los objetivos de mejorar la calidad de la enseñanza de las matemáticas y compartir internacionalmente programas y buenas prácticas. ICMI pasó a ser una comisión de IMU en 1958, aunque mantiene un alto nivel de independencia, con una cada vez mayor coordinación con IMU.

ICMI organiza el mayor evento matemático en el campo de la educación, los International Congress on Mathematical Education (ICME), así como publica los ICMI Studies. España ha organizado el 8ICME en Sevilla en 1996, con la asistencia de 2.762 participantes de 83 países.

La representación española en ICMI ha sido relevante en el pasado, ya que Miguel de Guzmán fue presidente de su Comité Ejecutivo por dos períodos consecutivos (1991-1998), y Carmen Batanero fue vocal en el cuatrienio 2003-2006. Desde entonces no ha habido representación española, aunque matemáticos españoles sí han participado en eventos y han coordinado varios estudios ICMI.

## 3. LA INVESTIGACIÓN

Los aspectos relacionados con la representación internacional de la investigación matemática se cubren en Europa con la European Mathematical Society (EMS). Cuatro sociedades matemáticas españolas (RSME, SeMA, SEIO y SCM) son miembros institucionales de la EMS. Hasta no hace mucho, para ser socio o socia de la EMS se requería serlo primero de una nacional, pero este requisito se ha eliminado.

Los matemáticos españoles están representados tanto en el Comité Ejecutivo de la EMS como en sus diferentes comisiones, y esta implicación europea ha ido aumentando paulatinamente hasta el punto de que una matemática española, Marta Sanz Solé, ha llegado a ocupar la Presidencia de la EMS.

Una de las comisiones de la EMS tiene un papel especial en la investigación, es la llamada European Research Centers of Mathematics (ERCOM), que reúne a los centros de investigación europeos. De una presencia limitada solo al Centre

de Recerca Matemàtica (CRM) de Barcelona, se ha pasado a una representación mayor al incorporarse primero el Instituto de Ciencias Matemáticas (ICMAT) y luego el Basque Center of Applied Mathematics (BCAM).

### 3.1. European Mathematical Society

El germen de la Sociedad Matemática Europea está en los esfuerzos de la Fundación Europea de la Ciencia (ESF) para tratar de impulsar la colaboración entre los y las matemáticas de Europa. Como primer resultado, se creó el Consejo Europeo de Matemáticas (European Mathematical Council) tras el Congreso Internacional de Matemáticos (ICM) de Helsinki en 1978. Las dificultades políticas del ICM de Varsovia en 1982, que obligaron a retrasar su celebración a 1983, supusieron un revés en este camino, aunque finalmente, tras varias reuniones infructuosas, se llegó a la decisiva en Mandralin (Polonia) en 1990, a la que asistieron representantes de 28 sociedades matemáticas nacionales con la ya clara intención de crear una sociedad europea.

A pesar del ambiente positivo, la tarea no resultó fácil (nada resulta fácil en esta Europa tan diversa). La primera gran objeción vino de la Sociedad Matemática Francesa, con su presidente a la cabeza, Jean Pierre Bourguignon. La ciudadanía francesa no deseaba una sociedad que admitiese socios individuales y que pudiera hacer competencia a las sociedades nacionales. Se salvó el escollo con la condición de que los socios lo serían a través de las sociedades nacionales, y solo cuando se alcanzaran los 4.000 se permitirían afiliaciones individuales (esta cifra se rebajó posteriormente a 3.000 y hoy coexisten las dos vías para asociarse a la EMS, la individual o a través de una sociedad nacional).

En los primeros años, la Real Sociedad Matemática Española (RSME) no pagó nunca su cuota de entrada, y por ello fue expulsada en la reunión del Comité Ejecutivo de Budapest en 1996 (de 1990 a 1996 la RSME estuvo prácticamente paralizada). Afortunadamente, un reducido grupo de matemáticos se planteó, en otoño de 1996, poner en marcha otra vez la RSME y, tras su refundación, situarla en el sitio que le correspondía. La EMS acogió con enorme alegría este retorno, y la RSME refundada empujó de nuevo (como le corresponde por tradición y envergadura) la aventura europea de las matemáticas españolas, en compañía del resto de sociedades matemáticas de nuestro país. La SCM, SEMA y SEIO forman parte con la RSME de las sociedades matemáticas españolas que son miembros institucionales de la EMS.

La presencia de las matemáticas españolas se ha ido incrementando en estos últimos años. Actualmente, Vicente Muñoz es miembro del Comité Ejecutivo (2017-2020), Marta Sanz Solé ha sido presidenta desde 2011 a 2014 (fue vocal desde 1999 a 2003) y Olga Gil Medrano, vocal desde 2005 a 2008. Esto quiere decir que España ha estado presente desde 1999 (los últimos 20 años).

La presencia se extiende a otros comités:

- M. Paz Calvo, en el de Applied Mathematics.
- Fernando Rodríguez Villegas, en el de Developing Countries.
- Henar Herrero Sanz, en el de European Solidarity.
- Ana Serradó Bayés, en el de Education.
- Javier Fernández de Bobadilla y Julio Moro Carreño, en el de Meetings.
- Fernando Blasco, en el de Raising Public Awareness.
- Pablo Mira, en el de Women.

Además, como ya hemos comentado, tres centros de investigación españoles, CRM, ICMAT y BCAM, están integrados en ERCOM (European Research Centres on Mathematics).

La conclusión es que España, a través de sus sociedades matemáticas, está muy bien representada en la EMS.

La representación internacional no europea en IMU se realiza a través del CEMAT y sus comisiones. A este respecto, cabe señalar la buena estrategia seguida en su momento de aprovechar el tirón del ICM 2006 de Madrid, para afianzar esta participación.

## 3.2. Representación en IMU y sus comités

### 3.2.1. *Comité Ejecutivo de IMU (IMU EC)*

Es el órgano de decisión de IMU, que gestiona todos sus asuntos y al que comités y comisiones están subordinados. El IMU EC consta de 10 miembros que se eligen por 4 años: presidente, 2 vicepresidentes, secretario general y 6 vocales. El presidente pasado es miembro exofficio (sin voto) y un presidente solo puede estar un mandato. El resto de miembros pueden ser elegidos como máximo por dos mandatos consecutivos.

Solo ha habido un español en la historia en este Comité Ejecutivo, Manuel de León, elegido por dos mandatos consecutivos, 2007-2010 y 2010-2014.

### 3.2.2. *Commission for Developing Countries (CDC)*

El CDC tiene el mandato para gestionar todas las iniciativas de IMU en apoyo de las matemáticas en países en vías de desarrollo, continuando el trabajo previo de dos comités que desaparecen, el CDE y el DSCG.

En esta comisión sí hay representación española, ya que Olga Gil Medrano ocupa la Secretary for Policy en dos sucesivos mandatos, 2015-2018 y 2019-2022.

### 3.2.3. *Committee on Electronic Information and Communication (CEIC)*

El CEIC tiene como mandato asesorar al IMU EC sobre asuntos relacionados con la información y la comunicación. En particular, temas como las publicaciones electrónicas, la digitalización, las buenas prácticas en las publicaciones de las revistas, el proyecto de la Digital Mathematics Library, etc., son competencia del CEIC. Desde su fundación en 1998, no ha habido nunca una persona española miembro de este comité.

### 3.2.4. *Committee for Women in Mathematics (CWM)*

Este comité, creado en marzo de 2015 por el Comité Ejecutivo de IMU, tiene como objetivo promover los contactos entre las diferentes organizaciones nacionales y regionales de mujeres matemáticas. Su tarea es fundamentalmente de coordinación, sin excluir otras más directas. Desgraciadamente, España no cuenta con ninguna representante en el Comité Ejecutivo.

### 3.2.5. *International Commission on the History of Mathematics (ICHM)*

El ICHM es una comisión compartida con la Division of the History of Science (DHS) de la International Union for the History and Philosophy of Science and Technology (IUHPST). Su objetivo es promover el estudio de la historia de las matemáticas. Publica la revista *Historia Mathematica*, fundada por Kenneth O. May en 1974. En el Comité no hay españoles, pero en *Historia Mathematica*, Antoni Malet forma parte de su Comité Editorial.

### 3.2.6. *El IMU Circle*

IMU creó el IMU Circle para honrar y agradecer los esfuerzos de las y los matemáticos que han servido y representado a IMU de manera continuada y distinguida durante años. Este Círculo es presidido por el presidente de IMU con la ayuda de un presidente asociado nombrado por el Comité Ejecutivo de IMU.

Consta de 145 miembros, de los cuales seis son de España:

- Carmen Batanero.
- Joaquim Bruna.
- Manuel de León.
- Marta Sanz-Solé.
- Juan Manuel Viaño.
- Enrique Zuazua.

### 3.3. **Matemática aplicada e industrial**

En lo que se refiere específicamente a las matemáticas aplicadas, además de la RSME, juega un papel destacado la Sociedad Española de Matemática Aplicada (SeMA). SeMA está integrada en dos importantes entidades internacionales:

- En el International Council for Industrial and Applied Mathematics (ICIAM).
- En el European Consortium for Mathematics in Industry (ECMI).

Tanto en ECMI como en ICIAM, existe un claro interés y promoción de actividades en el entorno de la transferencia del conocimiento matemático, pero señalaremos una iniciativa de gran alcance en el ámbito europeo. Se trata de la llamada red Math-in Europe, en donde España está representada mediante la red Math-In. Sin duda que reforzar Math-In con la ayuda de centros como CRM, ICMAT y BCAM, que poseen el galardón María de Maeztu y Severo Ochoa, ayudaría a impulsar más la transferencia de las matemáticas, un área en pleno desarrollo. Un ejemplo de articulación en torno a las tres universidades gallegas lo constituye el Instituto Tecnológico de Matemática Industrial, ITMATI.

En este tema de internacionalización de la investigación de manera institucional, la recién creada Red Estratégica de Matemáticas (REM) debe sin duda jugar un papel relevante.

### 3.3.1. *The International Council for Industrial and Applied Mathematics (ICIAM)*

ICIAM es una organización internacional de sociedades de matemática aplicada, así como de otras instituciones interesadas en las matemáticas aplicadas e industriales. Sus principales actividades son:

- Los congresos ICIAM, que se celebran cada cuatro años.
- Los Premios ICIAM, que se conceden en la ceremonia de apertura de cada congreso ICIAM.

Los Premios ICIAM son estos:

- ICIAM Collatz Prize.
- ICIAM Lagrange Prize. ICIAM Maxwell Prize.
- ICIAM Pioneer Prize.
- ICIAM Su Buchin Prize.

Y nunca han sido conseguidos por un matemático o matemática de España, desde 1999.

En cuanto a los conferenciantes invitados en los ICIAM, los españoles han sido:

- Amable Liñán ICIAM 1999, Edimburgo
- Vicente Caselles, ICIAM 2011, Vancouver.
- Jesús Sanz Serna, ICIAM 2015, Beijing.
- Alfredo Bermúdez de Castro, ICIAM 2019, Valencia.

Son cuatro desde 1987, año en el que se inicia la serie de congresos. Teniendo en cuenta que en los últimos ICIAM hay 27 conferencias invitadas, resultan cuatro entre cerca de 200 matemáticos y matemáticas, lo que indica que hay espacio para mejorar esta participación.

El Comité Ejecutivo de ICIAM consta de presidente, presidente anterior, vicepresidente, tesorero, secretario y dos vocales, entre los cuales se encuentra un español, Luis Vega, elegido tras el ICIAM de Valencia, aprovechando de nuevo la estrategia del ICIAM2019.

Comentaremos, a continuación, la representación de la estadística e investigación operativa, cruciales hoy en día para las aplicaciones y la transferencia.

### 3.4. La estadística e investigación operativa

La estadística y la investigación operativa se enmarcan, internacionalmente, en instituciones diferentes a las de IMU e ICIAM. Las razones son históricas, y quizás debidas a que la estadística moderna fue creada principalmente en Reino Unido a principios del siglo XX y muy vinculada a la biología. No ha ocurrido así con la teoría de probabilidades. Un reflejo de estos hechos es, aparte de la existencia de instituciones propias, la falta de presencia en los eventos más populares entre la comunidad matemática como los Congresos Internacionales de Matemáticos.

Las instituciones internacionales que enmarcan estas disciplinas son estas:

- ISI - International Statistical Institute (con sus siete asociaciones):
  - Bernoulli Society (BS).
  - International Association for Official Statistics (IAOS).
  - International Association for Statistical Computing (IASC).
  - International Association for Statistical Education (IASE).
  - International Association of Survey Statisticians (IASS).
  - International Society for Business and Industrial Statistics (ISBIS).
  - The International Environmetrics Society (TIES).

Debemos hacer notar el enorme crecimiento que ha experimentado la estadística e IO en España en los últimos 25 años, pasando de una presencia escasa a constituir la tercera parte de los proyectos que se presentan al Plan Nacional de Investigación.

En España, los investigadores en estadística se articulan en la Sociedad de Estadística e Investigación Operativa (SEIO), que está presente con el resto de sociedades matemáticas en el CEMAT y también, por supuesto, dentro de la RSME. Sin embargo, no parece que exista una tal coordinación en el ámbito internacional, y una de las cuestiones que se plantean es cómo mejorar estas representaciones de manera colaborativa.

#### 3.4.1. *The International Statistical Institute (ISI)*

Fundado en Londres, en 1885, por 81 estadísticos, integra 7 asociaciones (las indicadas anteriormente), y 4.500 personas asociadas de más de 100 países. Su

objetivo es el desarrollo de la estadística en todo el mundo. No aparecen miembros de España en su actual Comité Ejecutivo.

Su actividad más relevante es el ISI World Statistics Congress, con miles de participantes, que se organiza cada dos años en diferentes países. También organiza los ISI Regional Statistical Conferences. En España se ha organizado el 20 th WSC en Madrid en 1931; y el 44 th WSC, también en Madrid, en 1983.

Jorge Mateu (Universitat Jaume I) es miembro del Comité Editorial de la principal revista de ISI (y sus siete asociaciones), el International Statistical Review (ISR).

Por otra parte, existe una categoría especial de miembros que premian a aquellas personas que hayan hecho contribuciones significativas a ISI. Entre ellas, encontramos las siguientes cuya procedencia es española:

- Ana M. Aguilera.
- Florentina Álvarez Álvarez.
- Mónica María Bécue Bertaut.
- Mauricio Beltrán Pascual.
- Ricardo Cao.
- Carmen A. Capilla Roma.
- Ignacio Cascos.
- José L. Cervera Ferri.
- Ana María Debón Aucejo.
- Josep Domingo-Ferrer.
- Miguel Alejandro Fernández.
- Eduardo García España.
- Wenceslao González Manteiga.
- Manuel López Cachero.
- Jesús López Fidalgo.
- Pilar Martín Guzmán.
- Jorge Mateu.
- Carlos Matrán Bea.
- Isabel Molina Peralta.

- Domingo Morales González.
- Jorge Navarro.
- Salvador Naya.
- Vicente A. Núñez Antón.
- Leandro Pardo Llorente.
- Daniel Peña.
- Arthur Richard Pewsey.
- David Ríos Insúa.
- Cristina Rueda.
- Alberto Satorra.
- Mariano J. Valderrama Bonnet.

Es un buen número que da fe, una vez más, del gran desarrollo de la estadística española.

### 3.4.2. *Bernoulli Society*

Sociedad fundada en 1975 como una sección del International Statistical Institute (ISI). Son 1.000 socios y socias de unos 70 países, de los cuales 13 son de España. Entre sus múltiples conferencias sobre estadística y probabilidad, se encuentra la siguiente organizada en España:

*Methodological advances in Statistics related to Big Data*, Castro Urdiales, Spain, June 8-12, 2015.

Por otra parte, José Manuel Corcuera Valverde (Universidad de Barcelona) ha sido Tesorero del Comité Ejecutivo en el periodo 2009-2012; y E. Nualart (Universitat Pompeu Fabra, Barcelona) es miembro del Comité Editorial de la revista *Stochastic Processes and their Applications*.

## 4. LOS GRANDES EVENTOS INTERNACIONALES

Una de las mejores ocasiones para ganar visibilidad internacional está en los grandes eventos matemáticos. Citemos quizás los más relevantes:

- El International Congress of Mathematicians (ICM) organizado por la IMU. El ICM de 2006 se organizó en Madrid.

- El International Congress of Mathematical Education (ICME) organizado por ICMI con el apoyo de IMU. El ICME de 1996 se organizó en Sevilla.
- El International Congress on Industrial and Applied Mathematics, organizado por ICIAM. El ICIAM de 2019 se organizó en Valencia.
- El European Congress of Mathematics (ECM), organizado por la EMS. El ECM de 2000 se organizó en Barcelona, y Sevilla se ha candidatado para el ECM de 2024.
- El ISI World Statistics Congresses (WSC), organizado por ISI. No se ha organizado todavía en España en épocas recientes; pero sí se celebró en 1931 y 1983.

La reflexión que la comunidad matemática española debe hacer es cómo aprovechar mejor estas oportunidades para ganar esa visibilidad y reforzar la representación internacional. Puesto que hemos conseguido organizar algunos de estos grandes eventos en España (y con notable éxito, por cierto), debería crearse un comité de personas expertas en este tipo de eventos que recoja las experiencias pasadas. Este comité estaría formado por aquellas personas que han sido los responsables directos de esas organizaciones.

En otro orden de cosas, se debería aprovechar estas experiencias para generar avances en la comunicación de las matemáticas, ya que en varios de ellos se ha contado con un gabinete de prensa (en particular, la labor de este gabinete en el ICM2006 de Madrid se puede considerar paradigmática, y todavía, a día de hoy, es el modelo a seguir en los posteriores ICM).

Otra de las oportunidades que ofrecen este tipo de congresos es la de los premios que se otorgan en ellos (por ejemplo, las Medallas Fields en los ICM) y también el honor que supone ser una de las personas seleccionadas como conferenciante invitado o invitada o para impartir una charla plenaria. La relación de matemáticos y matemáticas españolas es muy escasa en comparación con el nivel de investigación alcanzado, y quizás habría que poner en marcha estrategias que conduzcan a mejores resultados (tanto en el caso de premios como en la propuesta de conferenciantes. Véase capítulo de Premios para más detalles).

Una de las primeras sugerencias a proponer es la de enviar propuestas de manera colectiva y optimizada, de manera que la organización no reciba una gran cantidad de ellas y las que lleguen sean muy relevantes y lo hagan con apoyos importantes.

Esta es una medida a corto plazo, pero debemos pensar a medio y largo plazo, y en ese sentido hay dos medidas que producirían buenos resultados:

- Enviar representantes institucionales siempre, a cada evento, mostrando el compromiso español con las instituciones europeas e internacionales.
- Fomentar la participación de la comunidad matemática española, especialmente de las personas más jóvenes, de manera que se perciba un colectivo dinámico, con profesionales de las matemáticas excelentes y con gran futuro.

Un caso particular de eventos son los Años Internacionales. Todavía tenemos el recuerdo de la extraordinaria organización del Año Internacional de las Matemáticas en nuestro país, en 2000, a pesar de que hasta 1997 el evento había pasado inadvertido para la comunidad matemática española, por las turbulencias de la RSME desde 1990 hasta 1996 y la reconstitución de 1996 que llevó a poner en marcha de nuevo el Comité IMU.

Se presenta ahora el caso del Día Internacional de las Matemáticas a celebrar anualmente que debería ser cita obligada de actos que pongan en valor las matemáticas en España, así como una oportunidad para compartir experiencias internacionales.

## 5. LAS OLIMPIADAS MATEMÁTICAS Y OTROS EVENTOS SIMILARES

En el ámbito educativo, las Olimpiadas Matemáticas juegan desde hace décadas un papel importante en la representación internacional. En cierta manera, esta competición viene a indicar la calidad de la enseñanza de las matemáticas de nuestro país. No olvidemos que algunas de las personas ganadoras de medallas de oro en la Olimpiada Matemática Internacional han sido luego galardonadas con una Medalla Fields.

Los resultados del alumnado español son moderados, lo que no es achacable a sus habilidades matemáticas en sí, sino en muchos casos a la falta de tiempo en la preparación de las pruebas, a diferencia de otros países.

España ha organizado unas Olimpiadas Matemáticas Internacionales, en Madrid, en 2008. Y también la versión Iberoamericana, en Castellón, en 2004. En ambos casos la organización fue exitosa.

La Olimpiada Matemática Española está organizada por la RSME, desde 1964, aunque participan también las sociedades regionales que conforman la FESPM. Está dirigida a estudiantes de Bachillerato.

En 1990, la FESPM puso en marcha la Olimpiada Matemática Nacional, dirigida a alumnas y alumnos de 2º de Educación Secundaria Obligatoria que cursen estudios en cualquier colegio público o privado de España. Participan también, en calidad de invitado, alumnado de Andorra.

Una de las tareas pendientes es la de buscar sinergias entre todas estas iniciativas para que la selección del estudiantado que va a la fase internacional y a la iberoamericana consiga mejores resultados.

Por otra parte, existen otro tipo de programas dirigidos a alumnado de Educación Primaria, como el Concurso de Primavera y similares.

Una iniciativa diferente, pero que tiene relación con las Olimpiadas Matemáticas es Estalmat.

ESTALMAT es un proyecto de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Trata de detectar, orientar y estimular de manera continuada, a lo largo de dos cursos, el talento matemático excepcional de estudiantes de 12-13 años, sin desarraigarlos de su entorno, mediante una orientación semanal, que se efectúa cada semana por tres horas. ESTALMAT fue fundado por el académico, Miguel de Guzmán Ozámiz y está actualmente dirigido por el académico, Manuel de León, que sustituye al también académico, Amable Liñán Martínez.

Aunque en principio estas iniciativas parezcan alejadas de lo que es la representación internacional como colectivo y como personas que se dedican a la investigación de manera individual, es importante que sean canteras donde podamos identificar potenciales talentos matemáticos que sepamos proteger y guiar para que puedan aprovechar todas sus facultades. En particular, ESTALMAT y programas similares son la cantera para las Olimpiadas y de estas han salido excelentes investigadores e investigadoras.

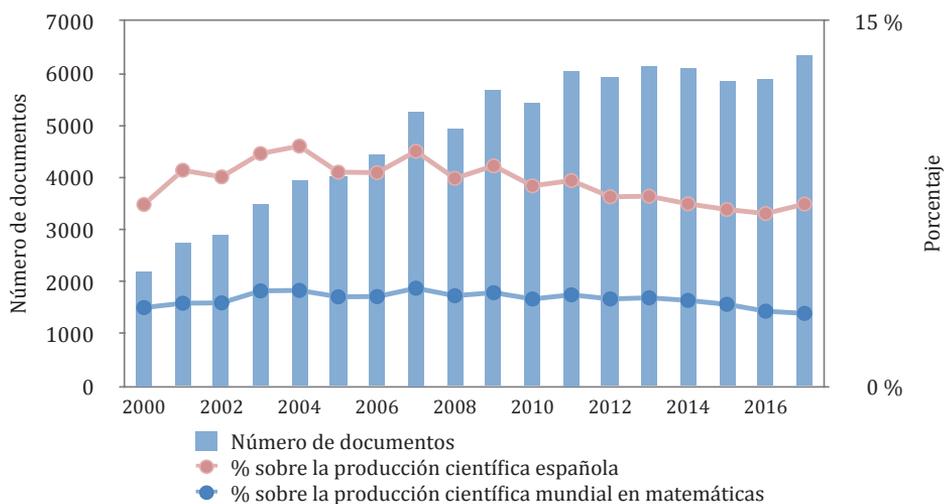
## **6. IMPACTO DE LA INVESTIGACIÓN ESPAÑOLA EN MATEMÁTICAS**

Como parte de este Libro Blanco, se incluye un estudio minucioso del impacto de la investigación matemática española. No solo la fotografía actual, sino

su evolución a lo largo de las últimas décadas. En esta sección no se trata de repetir lo ya contenido en el capítulo al que nos referimos, pero sí enfatizar más en lo que concierne a la penetración internacional individual y sus repercusiones en el impacto como colectivo.

En este aspecto, debe destacarse el progreso que la comunidad matemática española ha hecho desde principios de los años 80, con una presencia casi testimonial en las revistas de calidad indexadas en el *Journal Citation Report* hasta la actual, en la que personal matemático español publica profusamente en todas ellas. Independientemente del debate sobre los factores de impacto, usar métricas es esencial para dar valor a la representación internacional de este trabajo. El número de citas que los artículos de matemáticas y matemáticos españoles consiguen ha ido aumentando, de manera que hoy en día España ocupa un lugar destacado.

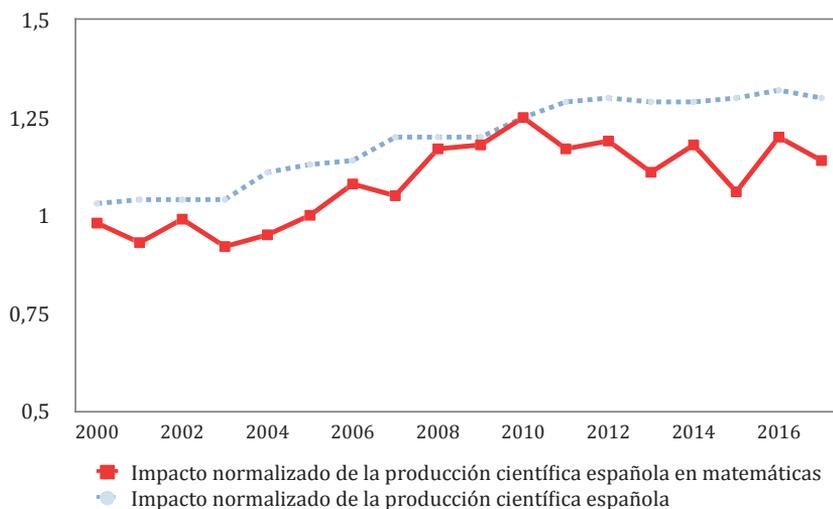
Figura 1: La producción científica española en matemáticas en el periodo 2000-2017



Número de documentos: suma de artículos científicos, actas de congresos y revisiones anuales.

Fuente: FECYT, a partir de datos de la herramienta SciVal-SCOPUS, consultado en mayo de 2019.

Figura 2: El impacto normalizado de la producción científica española en matemáticas en el periodo 2000-2017

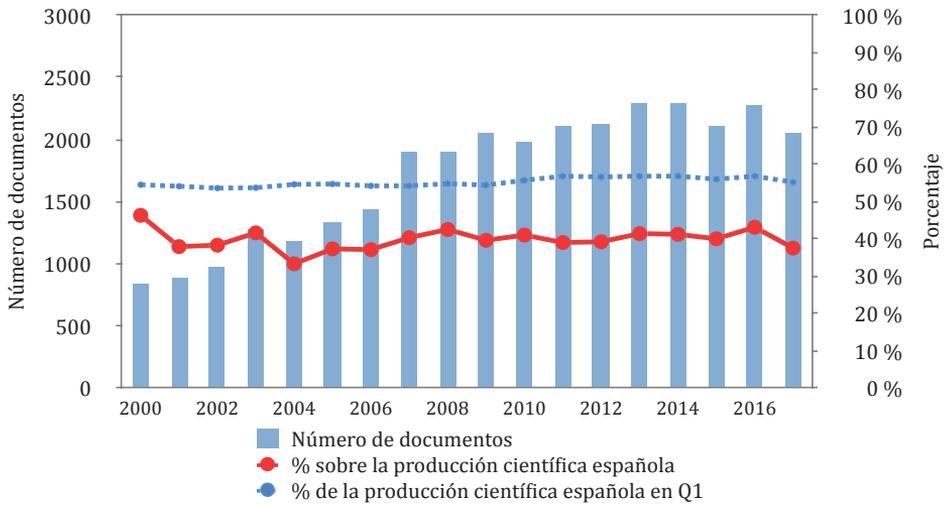


Fuente: FECYT, a partir de datos de la herramienta SciVal-SCOPUS, consultado en mayo de 2019.

Recordemos que el Impacto Normalizado muestra la relación entre la media del impacto científico de un país o institución con la media mundial (que tiene una puntuación de 1); así, un IN del 0,8 significa que el país o institución es citada un 20% menos que el promedio mundial, mientras que un IN del 1,3 significa que es citada un 30% más que el promedio mundial.

Si nos referimos a las publicaciones llamadas de excelencia (primer cuartil), la producción científica española en matemáticas en las revistas de alto impacto (Q1) durante el periodo 2000-2017 se refleja en la siguiente figura, que muestra el número de documentos, el porcentaje sobre la producción científica española y la producción científica española en Q1:

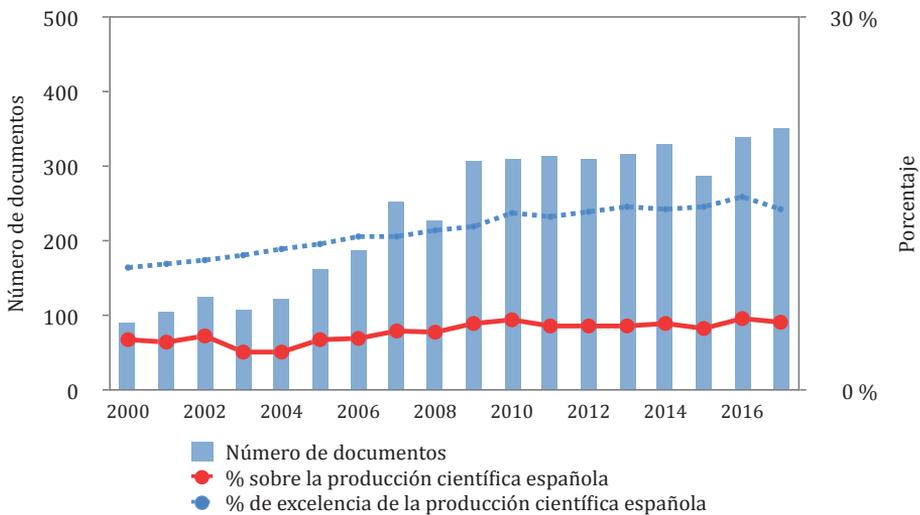
**Figura 3: Revistas de alto impacto: revistas clasificadas en el primer cuartil por factor de impacto (Q1)**



*Fuente:* FECYT, a partir de datos de la herramienta SciVal-SCOPUS, consultado en mayo de 2019.

Se pueden refinar los resultados de la tabla anterior si se considera la siguiente figura:

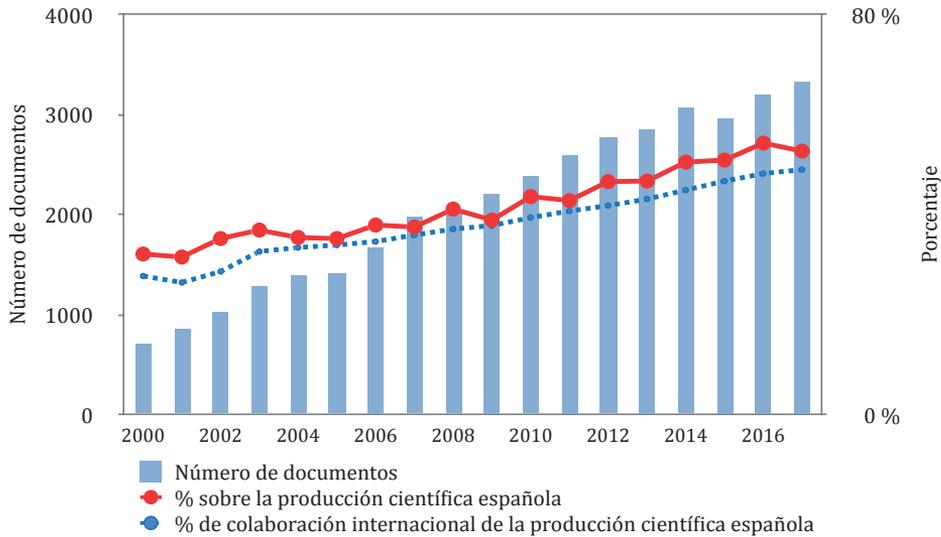
**Figura 4: Producción científica de excelencia: publicaciones científicas de un país o institución que se incluyen en el conjunto del 10% de los artículos más citados de su área**



*Fuente:* FECYT, a partir de datos de la herramienta SciVal-SCOPUS, consultado en mayo de 2019.

Por otra parte, podemos estudiar la colaboración internacional en investigación cuantificando los artículos realizados por personal matemático español con el de otros países, resultados que se recogen en esta figura:

**Figura 5: Producción científica en colaboración internacional: producción publicada en colaboración con instituciones de fuera del país. Se tiene en cuenta para la elaboración de este indicador aquellos documentos que incluyen más de una afiliación y además al menos uno es de un país distinto**



*Fuente:* FECYT, a partir de datos de la herramienta SciVal-SCOPUS, consultado en mayo de 2019.

En la tabla siguiente mostraremos los 10 primeros países en colaboración con España en matemáticas en el periodo 2013-2017:

**Tabla 1: 10 primeros países en colaboración con España en matemáticas, en el periodo 2013-2017**

País	Número de documentos del país en colaboración con España en matemáticas	Impacto Normalizado de la colaboración del país con España en matemáticas	Impacto Normalizado del país en matemáticas	Producción científica en revistas matemáticas en revistas de alto impacto (Q1) del país en colaboración con España (%)	Producción científica en revistas matemáticas en revistas de alto impacto (Q1) del país (%)	Producción científica de excelencia en matemáticas del país en colaboración con España (%)	Producción científica de excelencia en matemáticas del país (%)
Estados Unidos	2.587	1,88	1,37	52,4%	47,0%	11,4%	6,7%
Reino Unido	1.889	2,08	1,41	42,2%	46,7%	11,8%	7,9%
Francia	1.744	1,93	1,18	48,2%	46,0%	9,9%	5,0%
Italia	1.719	1,99	1,37	45,6%	39,7%	9,9%	6,4%
Alemania	1.608	2,13	1,36	41,7%	39,7%	10,0%	5,6%
Brasil	806	2,11	0,92	56,2%	40,7%	10,3%	3,3%
Portugal	717	1,62	1,12	42,9%	34,1%	9,5%	5,1%
México	675	1,39	0,84	37,2%	29,5%	5,5%	3,3%
China	662	2,89	0,87	49,2%	26,1%	16,5%	5,1%
Países Bajos	618	2,31	1,49	33,8%	36,8%	12,9%	7,2%

Número de documentos: suma de artículos científicos, actas de congresos y revisiones anuales.  
 Impacto Normalizado: los valores muestran la relación entre la media del impacto científico de un país o institución con la media mundial (que tiene una puntuación de 1); así, un IN del 0,8 significa que el país o institución es citada un 20% menos que el promedio mundial, mientras que un IN del 1,3 significa que es citada un 30% más que el promedio mundial.

Revistas de alto impacto: revistas clasificadas en el primer cuartil por factor de impacto (Q1).

Producción científica de excelencia: publicaciones científicas de un país o institución que se incluyen en el conjunto del 10% de los artículos más citados de su área.

*Fuente:* FECYT, a partir de datos de la herramienta SciVal-SCOPUS, consultado en mayo de 2019.

En la siguiente tabla presentamos los datos más relevantes de los 10 primeros países en producción científica en matemáticas en el periodo 2000-2017:

**Tabla 2: 10 primeros países en producción científica en matemáticas en el periodo 2000-2017**

Pais	Número de documentos	Número de documentos en matemáticas	Producción científica en matemáticas sobre la producción científica total %	Impacto normativo en matemáticas	Producción científica en matemáticas en revistas de alto impacto (Q1) (%)	Producción científica en matemáticas de excelencia (%)	Producción científica en matemáticas en colaboración internacional (%)
Estados Unidos	8.702.360	523.067	6,01%	1,39	44,4%	7,2%	33,8%
China	5.067.609	448.959	8,86%	0,78	25,3%	4,2%	18,8%
Alemania	2.240.847	178.615	7,97%	1,34	37,5%	5,6%	42,8%
Francia	1.585.918	156.892	9,89%	1,21	46,2%	5,2%	46,8%
Reino Unido	2.373.406	147.156	6,20%	1,39	44,2%	7,6%	49,1%
Japón	2.142.343	118.194	5,52%	0,89	30,0%	2,9%	25,0%
Italia	1.313.077	113.746	8,66%	1,26	40,3%	5,5%	41,2%
Rusia	818.158	88.293	10,79%	0,63	16,4%	1,6%	25,0%
España	1.062.852	87.172	8,20%	1,11	39,8%	4,9%	43,3%
India	1.297.778	86.013	6,63%	0,79	23,4%	3,6%	20,8%

Número de documentos: suma de artículos científicos, actas de congresos y revisiones anuales.

Impacto Normalizado: los valores muestran la relación entre la media del impacto científico de un país o institución con la media mundial (que tiene una puntuación de 1); así, un IN del 0,8 significa que el país o institución es citada un 20% menos que el promedio mundial, mientras que un IN del 1,3 significa que es citada un 30% más que el promedio mundial.

Revistas de alto impacto: revistas clasificadas en el primer cuartil por factor de impacto (Q1).

Producción científica de excelencia: publicaciones científicas de un país o institución que se incluyen en el conjunto del 10% de los artículos más citados de su área.

Producción científica en colaboración internacional: producción publicada en colaboración con instituciones de fuera del país. Se tiene en cuenta para la elaboración de este indicador aquellos documentos que incluyen más de una afiliación y además al menos uno es de un país distinto.

*Fuente:* FECYT, a partir de datos de la herramienta SciVal-SCOPUS, consultado en mayo de 2019.

## 6.1. Personal investigador extranjero en España

En los planes estratégicos que el CSIC solicita a sus institutos se incluyen medidas para favorecer la internacionalización y, entre ellas, están las estrategias dirigidas a aumentar el número de personal investigador extranjero contratado por el centro. Las razones detrás de este interés es que el número de personas extranjeras contratadas responde a la capacidad de atracción internacional de nuestros centros de investigación. Esto es lo que ocurre en los institutos de excelencia de los países avanzados, en los que se trata siempre de conseguir al mejor personal investigador, procedan de donde procedan.

En el capítulo sobre la investigación y en este mismo Libro Blanco, se citan datos en los programas Juan de la Cierva y Ramón y Cajal. Los resultados no son los deseables, ya que el número de investigadoras e investigadores reclutados es modesto, y más todavía el del personal que consigue una estabilización posterior.

Como causas, podríamos citar las enormes trabas burocráticas que imponen las administraciones españolas, así como la prácticamente imposibilidad para un departamento universitario o facultad de poner en práctica políticas científicas de personal. Esto queda al alcance solamente de los centros Severo Ochoa, y también con grandes limitaciones.

## 6.2. Congreso Internacional de Matemáticos (ICM)

Una de las muestras de la internacionalización de las matemáticas españolas es la participación como conferenciantes plenarios o plenarias en los grandes eventos matemáticos. Elegiremos solo los más representativos, ya que en los congresos ordinarios, la participación española suele ser nutrida. Pero es en estos grandes eventos donde se puede medir nuestra penetración internacional al mayor nivel.

Esta es la tabla de conferenciantes, en la que solo incluimos desde 1994, pues hasta entonces no ha habido participación española destacable:

Tabla 3

ICM	Plenarios	Invitados
1994 Zúrich	0	1
1998 Berlin	0	0
2002 Beijing	0	0
2006 Madrid	1	8
2010 Hyderabad	0	1
2014 Seúl	0	2 (Compartiendo conferencia)
2018 Río de Janeiro	0	3

Si tenemos en cuenta que en cada ICM hay 20-21 personas plenarias y unas 20 secciones con un número variable de conferencias invitadas, vemos que nuestra presencia es prácticamente anecdótica, con la excepción del ICM2006 de Madrid, que supuso un hito que todavía no hemos sido capaces de igualar. En efecto, concretando cifras, los resultados que se han obtenido en los últimos 7 ICM (desde 1994) son demoledores:

- 1 plenario entre 140.
- 15 invitados entre 1.236.

En cuanto a los premiados de la EMS, en muchos casos antesala de las medallas Fields, solo ha habido dos:

- Ricardo Pérez-Marco (España/Francia), 2ECM, 1996, Budapest
- Xavier Tolsa (ICREA, UAB, Barcelona), 4ECM, 2004, Estocolmo.

Hemos contado además con tres conferenciantes plenarios:

- Carles Simó (Barcelona), 3ECM, 2000, Barcelona.
- Daniel Peralta Salas (CSIC, Madrid), 7 ECM, 2016, Berlín.
- Xavier Cabré (ICREA, UPC, Barcelona), 8 ECM, 2020, Portorož, Eslovenia. (Pospuesto a 2021)

Es decir, 2 premiados entre 70 y 3 conferenciantes plenarios entre 76, son datos que no están mal si se tiene en cuenta el desarrollo más reciente de las matemáticas en España pero que permite mejoras futuras.

### 6.3. Premios de España y premios en el extranjero

España, mediante sus sociedades matemáticas, concede premios dirigidos fundamentalmente a matemáticos y matemáticas jóvenes:

- RSME: Rubio de Francia y Vicente Caselles.
- SEMA: Premio Antonio Valle.
- SEIO: Premio Ramiro Melendreras.

Estos premios han ido adquiriendo cierto prestigio, pero su impacto internacional es limitado ya que se otorgan a personal investigador español o doctorado en España. Existen otros premios que son internacionales, como el Barcelona Dynamical Systems Prize 2019 (SCM) o el The Ferran Sunyer i Balaguer Prize, y que sí pueden alcanzar más visibilidad.

La otra vertiente son los premios en el extranjero conseguidos por españoles y españolas (ya hemos comentado los de IMU, EMS, ICIAM) y que han sido muy escasos en comparación con el peso del colectivo matemático español. Una lista bastante completa se puede encontrar en el capítulo “Premios y reconocimientos” del Libro Blanco.

### 6.4. Los centros de investigación como motores de la internacionalización

Los centros Severo Ochoa pueden desarrollar política científica debido a la cuantía de los proyectos, en una medida que facultades, departamentos o institutos universitarios de matemáticas no pueden hacer. Están capacitados para contratar personal investigador de cualquier país, para favorecer la asistencia de sus miembros a los grandes eventos internacionales, para organizar congresos especializados invitando a los mejores matemáticos y matemáticas del mundo, etc. Estas acciones estratégicas ayudarían sin duda a la mayor visibilidad internacional del conjunto de las matemáticas. Es, en gran medida, una responsabilidad y obligación con el colectivo.

## 7. REPRESENTACIÓN ESPAÑOLA EN COOPERACIÓN

La cooperación internacional es otro aspecto de la presencia internacional de nuestras matemáticas. A este respecto, la referencia es el CIMPA.

El Centre International de Mathématiques Pures et Appliquées (CIMPA) es una asociación francesa (ley 1901) cuya misión es promover la investigación ma-

temática en los países en desarrollo. El CIMPA es un centro de la UNESCO de categoría 2 con sede en Niza y financiado por España, Francia, Noruega y Suiza.

Los principales proveedores de fondos del CIMPA son el Ministerio de Educación Superior e Investigación de Francia, la Universidad de Niza Sophia Antipolis, el Laboratorio de excelencia CARMIN (Centro de Recepción y de Encuentros Internacionales de Matemáticas) y el Instituto Nacional de Ciencias Matemáticas y sus interacciones (INSMI) del Centro Nacional de Investigación Científica (CNRS) de Francia. Desde el 2009, el CIMPA cuenta también con el apoyo del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades de España, desde el 2011, del Ministerio de Educación e Investigación de Noruega, y de una financiación de Suiza a través de la Universidad de Neuchâtel.

La representación española se articula a través del CEMAT, en coordinación con el ministerio. Las actividades españolas en CIMPA, así como la presencia en sus órganos ejecutivos y de asesoramiento, no ha dejado de crecer en los últimos años. Las actividades en CIMPA se articulan en particular en la Comisión de Desarrollo y Cooperación (CDC) del Comité Español de Matemáticas (CEMAT), que se constituyó en el año 2004.

El objetivo de la CDC es promover el conocimiento y la expansión de las matemáticas en los países en vías de desarrollo y en desventaja económica, y favorecer la colaboración a nivel internacional de sus profesionales. Así, entre sus grandes líneas de actuación están:

- La representación y enlace del CEMAT con organismos internacionales de cooperación al desarrollo en matemáticas (CDC de la EMS), en especial el CIMPA.
- Mantener una base de información sobre maestrías, doctorados y escuelas desarrolladas en países de menor desarrollo.
- Información sobre convocatorias de ayudas para realización de proyectos de cooperación al desarrollo y ayudas para estudios.

Si nos limitamos a CIMPA, por mor de resumir las actividades de mayor relevancia, España ha desarrollado una intensa actividad:

En cuanto al nivel institucional, Iván Area (Vigo) es miembro del Steering Committee y Henar Herrero Sanz (Castilla-La Mancha) lo es del Comité Científico.

En cuanto a la organización de escuelas, el evento más importante de CIMPA, desde su existencia, son las 340 escuelas CIMPA organizadas hasta la fecha, en 62 países, de las cuales España ha organizado directamente 3 habiendo participado con conferenciantes en muchas otras.

## 8. COMITÉS EDITORIALES DE REVISTAS

La importancia de las matemáticas españolas se mide también en la presencia en comités editoriales de revistas de prestigio así como en la existencia de revistas nacidas en España y que sean de referencia en el ámbito internacional.

Se ha hecho un análisis de la presencia de matemáticas y matemáticos españoles en revistas internacionales<sup>2</sup>. Los datos se han recabado de la Web of Science (WoS), y debido a la cantidad de revistas, nos hemos limitado a las del primer cuartil.

### 8.1. Categoría ‘Mathematics’

En la categoría de ‘Mathematics’, WoS recoge en 2017, 77 revistas incluidas en el primer cuartil del JCR, de las cuales cuatro de ellas eran revistas españolas:

- Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales Serie A-Matematicas.
- Revista Matemática Complutense.
- Revista Matemática Iberoamericana.
- Collectanea Mathematica.

Estas revistas (y el resto de revistas españolas) están descritas en esta misma sección con algo más de detalle. Valga decir que este dato es muy positivo y es indicativo del buen hacer de la comunidad matemática española.

Las 77 revistas incluidas en el JCR suman un total de 2.342 editores y editoras. De estas personas, un 4,82% tenían como lugar de trabajo un centro español; el 8,54% eran de centros franceses; 6,49%, de Italia y un 5,94%, de Alemania. De nuevo, este es un indicador positivo, ya que si contamos las poblaciones de estos países en relación con España, estaríamos en la media.

---

<sup>2</sup> Se agradece la búsqueda de datos de doña Elba Mauleón Azpilicueta.

En cuanto a España, son 83 los matemáticos y matemáticas que aparecen en 113 ocasiones. De esas 83 personas, 74 (89,15%) son hombres y 9, mujeres (10,85%). Este es un dato negativo que indica todavía el recorrido que debe hacerse para colocar a las mujeres matemáticas en una situación de igualdad, problema que afecta a España pero también a toda la comunidad matemática internacional.

## 8.2. Categoría ‘Applied Mathematics’

En la categoría de ‘Applied Mathematics’, WoS recoge en 2017, 64 revistas incluidas en el primer cuartil del JCR, de las cuales ninguna es española.

Las 64 revistas incluidas en el JCR suman un total de 2.768 personas encargadas de la edición, de las cuales un 3,03% tenían como lugar de trabajo un centro español; el 7,08% eran de centros alemanes; 5,85%, de Italia y un 8,35%, de Francia. Este es un indicador negativo, que indica una presencia escasa en el ámbito de las revistas de matemática aplicada de excelencia en comparación con los países más avanzados de nuestro entorno.

## 8.3. Categoría ‘Statistics and Probability’

En esta categoría de ‘Statistics and Probability’, WoS recoge 31 revistas en el primer cuartil del JCR, de las cuales ninguna es española.

De estas 31 revistas, 17 de sus editores y editoras tenían como lugar de trabajo un centro español, mientras que 44 procedían de Alemania, 51, de Italia y 66, de Francia. Estos datos indican la posibilidad de mejora en los próximos años en estos campos.

## 8.4. Revistas españolas: inventario y evolución<sup>3</sup>

Hacemos un listado de las revistas españolas, comentando brevemente su nacimiento y su situación actual.

a) *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Serie A. Matemáticas (RACSAM)*

Es la parte desgajada de matemáticas de la *Revista de la RAC*, que actualmente edita Springer sin coste para la RAC. Está dirigida por cuatro académicos:

---

<sup>3</sup> Los factores de impacto citados son los correspondientes a 2018.

Fernando Etayo Gordejuela, Manuel López-Pellicer, David Ríos Insúa y Luis Vega. Publica artículos en cualquier campo de las matemáticas y su factor de impacto es 1,028.

*b) Revista Matemática Iberoamericana*

Es la heredera de la *Revista Hispanoamericana de Matemáticas*, refundada en 1985, y editada actualmente por la Real Sociedad Matemática Española bajo el paraguas de la European Mathematical Society. La dirección está formada por Diego Córdoba (ICMAT-CSIC), Isabel Fernández (US), Andrei Jaikin (UAM) y Joaquim Ortega-Cerdà (UB). Publica artículos en todas las áreas y su factor de impacto es 1,540.

*c) Collectanea Mathematica*

Es la revista más antigua en España, publicada por la Universidad de Barcelona, fundada en 1948 por José M. Orts y desde 2011, editada por Springer. La directora es Rosa María Mirò Roig. Publica en cualquier tema matemático y su factor de impacto es 0,836.

*d) Revista Matemática Complutense*

Es la revista de la Facultad de Matemáticas de la Universidad Complutense de Madrid, fundada en 1988 y editada actualmente por Springer. Publica en prácticamente todas las áreas de las matemáticas y está dirigida por Marco Castrión. Su factor de impacto es 0,966.

*e) TEST*

Es una revista internacional de estadística y probabilidad editada por la SEIO y distribuida por Springer Verlag. *TEST* surge de la transformación de *Trabajos de Estadística* que, fundada por Sixto Ríos, se ha denominado *Trabajos de Estadística* (1950-1962), *Trabajos de Estadística e Investigación Operativa* (1963-1985) y *Trabajos de Estadística* (1986-1991). Los editores son Jesús López-Fidalgo y María Dolores Ugarte. Su factor de impacto es 1,423.

*f) TOP*

Es una revista internacional de investigación operativa editada por la SEIO y distribuida por Springer Verlag. *TOP* surge de la transformación de *Trabajos*

*de Investigación Operativa*. Los editores son Antonio Alonso Ayuso y Dolores Romero Morales. Su factor de impacto es 0,982.

*g) Qualitative Theory of Dynamical Systems*

Publica artículos en teoría y aplicaciones de sistemas dinámicos. Esta revista fue originalmente lanzada por la Universitat de Lleida, en 1999, y es editada ahora por Springer. Sus directores son Jaume Llibre (UAB) y Jaume Giné (Lleida). Su factor de impacto es 0,986.

*h) Publicacions Matemàtiques*

Está editada por el Departamento de Matemáticas de la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB) desde 1976. Publica en todas las áreas de las matemáticas y está dirigida por Francesc Perera, auxiliado por un Comité Ejecutivo formado por Francesc Mañosas, Artur Nicolau y Joan Porti, los cuatro profesores de la UAB. Su factor de impacto es 1,410.

*i) Extracta Mathematicae*

Está editada por el Instituto de Matemáticas de la Universidad de Extremadura (IMUEX), con la colaboración de la Universidad. Fue fundada en 1986 y está dirigida por Jesús M.F. Castillo, con una buena representación de matemáticos españoles. Aunque no está indexada en el JCR, publica artículos de calidad y su impacto está registrado en MathSciNet.

*j) SeMA Journal*

Es una publicación de la Sociedad Española de Matemática Aplicada (SeMA) con contenidos exclusivamente relacionados con la investigación en matemática aplicada. El director es Sergio Amat (Cartagena), con la colaboración de José M. Mazón (Valencia) y Tomás Chacón (Sevilla). La revista está editada por Springer y todavía no aparece en el JCR.

*k) Jaén Journal on Approximation*

Revista editada por el Departamento de Matemáticas de la Universidad de Jaén desde 2009, dedicada a la teoría de aproximación. Su director es Francisco-Javier Muñoz-Delgado (Jaén), con la ayuda de Dany Leviatan (Tel Aviv) y Mi-

guel A. Jiménez-Pozo (México). Aunque no aparece en JCR, sí lo hace en SJR (SCImago Journal Rankings): 0,364 en 2012.

Las características de todas estas revistas es que originalmente han sido publicadas por academias, universidades o sociedades, y finalmente, en su mayoría, han sido asumidas (generalmente con un pago anual a la editorial) por las grandes editoras internacionales como Springer. En algún caso, la revista está editada por la EMS. Por su creación, son revistas dirigidas por miembros de la comunidad matemática española, con un número apreciable de personas procedentes de España en sus comités editoriales. Su contribución a la visibilidad internacional es muy notable.

### 8.5. Liderazgo en revistas internacionales no españolas

Es importante también, para aumentar el impacto internacional, no solo el pertenecer a comités editoriales, sino ser parte de la dirección o fundadores y fundadoras de revistas internacionales. De momento, aportamos estos tres nombres, aunque seguramente habrá algunos matemáticos españoles más:

- Enrique Zuazua Iriondo: *Journal of Abstract Differential Equations and Applications*, Mathematical Research Publishers (MRP).
- Ana María Mancho: *Nonlinear Processes in Geophysics (NPG)*, European Geophysics Union (EGU).
- Manuel de León: *Journal of Geometric Mechanics*, AIMS

## 9. REPRESENTACIONES INTERNACIONALES DE LA REAL ACADEMIA DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES

Una de las representaciones internacionales probablemente menos aprovechadas por la comunidad matemática española es la de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (RAC). La presencia matemática en la RAC es relevante, un tercio de las y los académicos numerarios son matemáticos y lo mismo ocurre con los correspondientes nacionales.

Según el artículo 3, apartado f de sus Estatutos, para cumplir sus fines, la RAC podrá:

“Colaborar con otras academias y entidades de análogo o complementario carácter, españolas, extranjeras o internacionales, particularmente con universidades y organismos públicos de investigación”.

Para esta colaboración internacional, la RAC cuenta con un Comité de Relaciones Internacionales.

Existen varias redes internacionales de academias, de las cuales es miembro la RAC:

- EASAC (European Academies Science Advisory Board). EASAC es la asociación de las academias de ciencias de los estados miembros de la Unión Europea, Noruega y Suiza. EASAC elabora informes y asesora sobre temas científicos de interés para los países europeos.
- ALLEA (European Federation of Academies of Sciences and Humanities). ALLEA representa a más de 50 academias de 40 estados europeos y no europeos. Promueve la ciencia como un bien público global y facilita la colaboración científica entre fronteras y disciplinas.
- IAP (The InterAcademy Partnership). IAP es una red global de academias de ciencia, ingeniería y medicina, trabajando conjuntamente para proporcionar asesoramiento experto en temas científicos, tecnológicos y relativos a la salud.

La RAC no solo participa en las reuniones sino también en diferentes grupos de trabajo en temas de gran interés de la ciencia actual, y muchos de ellos conectados con los Objetivos del Desarrollo Sostenible.

Por otra parte, la RAC mantiene convenios y colaboraciones específicas bilaterales con diferentes academias.

## 10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las conclusiones de este informe se muestran clasificadas en diferentes apartados que resumen las recogidas en las secciones previas.

### 1. La educación e investigación en educación matemática:

- Fomentar la pertenencia a instituciones europeas como ERME.
- Conseguir presencia en el Comité Ejecutivo de ICMI.
- Promover una mayor visibilidad de los ICMI Studies en el ámbito educativo español.

- Aumentar la coordinación entre las diferentes representaciones internacionales y las sociedades matemáticas españolas con intereses directos en la educación.

## **2. Los grandes eventos internacionales:**

- Crear un comité de personas expertas en este tipo de eventos (formado por aquellas personas que han sido las responsables directas de esas organizaciones) que recoja las experiencias pasadas.
- Animar a una mayor participación de las y los jóvenes matemáticos españoles en estos grandes eventos, creando bolsas de viaje que les permitan asistir a los mismos.

## **3. Las olimpiadas matemáticas y otros eventos similares:**

- Conseguir una mejor coordinación entre las diferentes Olimpiadas Matemáticas, la Olimpiada Estadística, Estalmat y concursos de primavera y similares.

## **4. La investigación:**

- Conseguir mayor presencia en IMU y sus comités en comisiones.
- Diseñar estrategias para mejorar la participación en los ICM.
- Buena presencia en la EMS pero poca en cuanto a premios y las conferencias plenarias en los ECM.
- Elaborar un mapa de premios internacionales y un inventario de matemáticos y matemáticas españolas que reunieran las condiciones adecuadas.

## **5. Impacto de la investigación española en matemáticas:**

- Es fundamental que la elaboración de indicadores se realice con regularidad, para mostrar la evolución y poner atención a la misma.
- Análisis de las tendencias en líneas de investigación internacionales. España ha pasado de ser una comunidad que sigue tendencias internacionales a ser líder en muchos temas; no hacemos seguidismo, sino que hay auténtica investigación de frontera. El peligro que acecha es el de no poder continuar con esta progresión si los jóvenes investigadores e

investigadoras no encuentran acomodo en nuestras universidades y centros de investigación.

- Observatorio para detectar líneas emergentes.
- Apoyo de los centros de matemáticas Severo Ochoa y María de Maeztu a la mayor internacionalización de las matemáticas españolas.

#### **6. Representación española en cooperación:**

- Conseguir un presupuesto estable por parte del Ministerio de Ciencia y el Ministerio de Asuntos Exteriores.

#### **7. Comités editoriales de revistas:**

- Fortaleza de las revistas fundadas en España.
- Necesidad de analizar su evolución al pasar a ser editadas por grandes editoriales como Springer, lo que constituye una fortaleza y oportunidad (ganan en visibilidad y gestión) y también una amenaza (pérdida del control sobre las mismas).

#### **8. Representaciones internacionales de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales:**

- Coordinar mejor su actuación con la de las sociedades matemáticas y los centros de investigación (institutos universitarios y centros de SOMMA).

# PREMIOS Y RECONOCIMIENTOS

José Bonet Solves (Coordinador)<sup>1</sup>, Domingo García Rodríguez<sup>2</sup>,  
Francisco Marcellán Español<sup>3</sup>, Pedro José Paúl Escolano<sup>4</sup>

1: Universitat Politècnica de València

2: Universitat de València

3: Universidad Carlos III de Madrid

4: Universidad de Sevilla

## 1. INTRODUCCIÓN

El objeto de este capítulo es describir los premios y reconocimientos en el ámbito de las matemáticas, tanto a nivel nacional como internacional, analizando las instituciones que los otorgan y la metodología seguida en los mismos.

Sin duda, esta práctica, habitual en sociedades científicamente avanzadas y con una larga tradición, contribuye a dotar de valor a quienes reciben los premios, a las instituciones que los otorgan y a la proyección de la ciencia en la sociedad, así como de los científicos y las científicas en particular.

## 2. ¿POR QUÉ PREMIOS Y RECONOCIMIENTOS CIENTÍFICOS?

Como consideraciones generales, cabe señalar que los premios científicos:

- 1) Reconocen el mérito tanto a nivel individual como, en algunos casos, colectivamente, por contribuciones específicas o trayectoria científica.
- 2) Premian la excelencia, el esfuerzo, el sacrificio, la honestidad y el entusiasmo con el que se lleva a cabo una tarea, que no solo es una opción personal. Se reconoce además el compromiso con la sociedad que debe sustentar el sistema de ciencia y tecnología tanto a nivel nacional como internacional.
- 3) Mejoran la visibilidad de personas y organizaciones, así como de la investigación y el trabajo científico en general de cara a la sociedad. Junto a ello, los premios forman parte del compromiso con la ciencia de las institu-

ciones que los financian (sociedades científicas, reales academias, fundaciones públicas y privadas, organismos públicos de la administración del Estado, entre otros).

- 4) Estimulan la investigación y el talento no solo en aquellos y aquellas que han hecho de la investigación una apuesta personal, sino que también contribuyen a servir de referente para estudiantes en los diferentes niveles educativos.
- 5) Pueden ayudar a potenciar la trayectoria científica de los y las jóvenes que se dedican a la investigación, pues el reconocimiento público de las contribuciones científicas es un valor añadido a sus currículos.
- 6) Resultan inspiradores para la sociedad en la medida en que constituyen una prueba visible del retorno, tanto en recursos humanos como económicos. Significan la apuesta por el desarrollo científico y tecnológico en la consolidación de una sociedad democrática.
- 7) Los premios crean referentes sociales que contribuyen a atraer el talento a la investigación científica y a prestigiar esta actividad.

### 3. PANORAMA INTERNACIONAL

Los Premios Abel y las Medallas Fields son los galardones internacionales más relevantes en cuanto al reconocimiento específico de la investigación en matemáticas; de hecho, la prensa suele tildar su concesión como “el Nobel de las matemáticas” (aunque sí ha habido matemáticos, como Leonid Kantoróvich, John Nash o Lloyd Shapley, que han obtenido el Premio Nobel de Economía).

Al obviar Alfred Nobel el campo de las matemáticas en su testamento, el matemático noruego Sophus Lie propuso establecer un premio de la disciplina que se entregaría en 1902, con motivo del primer centenario del nacimiento de Niels Henrik Abel. La muerte de Lie y la separación de Noruega y Suecia frustraron esta iniciativa. Retomada con éxito en 2002, el Premio Abel se entrega anualmente desde 2003 para “reconocer contribuciones de extraordinaria profundidad e influencia en las ciencias matemáticas. Tales trabajos deben haber resuelto problemas fundamentales, haber creado técnicas nuevas y poderosas, haber introducido principios de unificación o haber abierto nuevos campos de investigación. El propósito es premiar contribuciones extensas a lo largo del tiempo en un campo amplio de las ciencias matemáticas”.

La Medalla Fields, originalmente Medalla Internacional para Descubrimientos Sobresalientes en Matemáticas, se entrega desde 1936 cada cuatro años, con ocasión de la celebración del *International Congress of Mathematicians* organizado por la International Mathematical Union (IMU) para “reconocer logros matemáticos sobresalientes en el trabajo ya hecho y la promesa de logros futuros (...) Los candidatos y las candidatas deben cumplir los 40 años después del 1 de enero del año en que se celebre el congreso en el que se entrega la medalla”. La Medalla Fields es un premio que dota de un carácter singular a las matemáticas entre todas las ciencias, pues es la comunidad matemática la que, a través de la Unión Matemática Internacional (IMU), otorga el premio para que les sea más fácil seguir haciendo maravillas en el futuro a quienes lo reciben. De hecho, de los 19 Premios Abel, 5 de ellos habían recibido la Medalla Fields.

Hay otros premios concedidos por la IMU, como los Premios Gauss, a contribuciones matemáticas relevantes con aplicaciones significativas fuera del propio campo, los Premios Nevanlinna (llamado IMU Abacus Medal desde el 31 de julio de 2018), para avances significativos en los aspectos matemáticos de la computación, y la Medalla Chern, en reconocimiento a los logros destacados de toda una vida dedicada al estudio de las matemáticas en su más alto nivel. También, cabe destacar los Premios Shaw para contribuciones destacadas en astronomía, biología y medicina y matemáticas (se otorga desde 2004). Desde 2012 se concede el Premio Breakthrough. Asimismo, el Premio Wolf es muy prestigioso. Desde 1978, Matemáticas es una de las seis categorías en las que la Fundación Wolf otorga sus premios.

Diversas sociedades matemáticas, como el International Council for Industrial and Applied Mathematics (ICIAM), la European Mathematical Society (EMS), la American Mathematical Society (AMS) o la Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM), otorgan también premios específicamente matemáticos de carácter internacional o reconocen la trayectoria de matemáticos y matemáticas relevantes con el nombramiento de *fellow*.

Asimismo, debemos destacar, por su carácter singular, los premios que el Clay Mathematics Institute concederá con un importe de 1.000.000 USD a quienes resuelvan alguno de los seis “problemas matemáticos del milenio”: el problema de *Yang-Mills y Mass Gap*, la hipótesis de Riemann, la conjetura  $P=NP$ , la ecuación de Navier-Stokes, la conjetura de Hodge y la conjetura de Birch and

Swinerton-Dyer, restantes tras la resolución de la Conjetura de Poincaré por Grigori Perelman.

Finalmente, como un reto importante, sin la retribución económica del Clay Mathematical Institute, citemos los llamados “problemas de Smale”: una lista de 18 problemas matemáticos no resueltos, propuesta por Steve Smale en 2000. Smale compuso esta lista en respuesta a una petición de Vladimir Arnold, entonces presidente de IMU, que solicitó a varios matemáticos y matemáticas listar los problemas matemáticos más interesantes para el siglo XXI, inspirado en la lista de problemas de Hilbert propuestos en 1900.

#### 4. PANORAMA ESPAÑOL

Destaca el esfuerzo en la dotación de premios que realizan las sociedades matemáticas –Real Sociedad Matemática Española (RSME), Sociedad Española de Matemática Aplicada (SEMA), Sociedad de Estadística e Investigación Operativa (SEIO), Societat Catalana de Matemàtiques (SCM)–. Si bien la mayoría están dirigidos a premiar las contribuciones y trayectoria de jóvenes, también hay algunos premios a trayectorias profesionales dilatadas y otros otorgados específicamente a trabajos o monografías.

El panorama es muy poco halagüeño en lo que se refiere a premios nacionales o autonómicos. El único premio de carácter específicamente matemático es el Premio Nacional de Investigación Julio Rey Pastor, que se concedía bienalmente desde 2001 a personas destacadas en, alternativamente, las áreas de las matemáticas y de las tecnologías de la información y las comunicaciones. El premio se instauró junto con otros nueve premios nacionales, y fue otorgado a los matemáticos Juan Luis Vázquez (2003), Enrique Zuazua (2007) y Antonio Córdoba (2011). Desde esta última edición, el premio quedó suspendido hasta el año 2018, en el que se abrió una nueva convocatoria en la que se premió a Ramón López de Mántaras (TIC).

También existen galardones científicos de diversas fundaciones privadas o gobiernos autonómicos –BBVA, Princesa de Girona, Rei Jaume I, Ramón Areces, Manuel Peláez, Comunidad de Madrid, Generalitat de Catalunya–, otorgados en ciertas ocasiones por méritos dentro del campo de las matemáticas.

En el lado negativo, resulta sorprendente que la mayoría de las grandes empresas de nuestro país no promocionen premios científicos de ningún tipo. El

patrocinio y el mecenazgo son la asignatura pendiente en España, a diferencia de lo que ocurre en países de nuestro entorno europeo y del resto del mundo.

En el Anexo 1 se recoge una descripción detallada de cada uno de estos premios y una relación de quienes han recibido el correspondiente galardón.

## 5. CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

A la vista de los datos de los anexos y en relación con lo descrito en los apartados anteriores, se ha extractado la siguiente lista de conclusiones y sugerencias.

- 1) Se ha puesto de manifiesto en este libro el buen estado de la investigación matemática española en términos de publicaciones e impacto. Sin embargo, en comparación con otros países de nuestro entorno, hay pocos premios y reconocimientos, fruto de un desarrollo científico y tecnológico de menor intensidad temporal que en aquellos países que son referentes científicos en el ámbito de las matemáticas.
- 2) Es necesario y urgente la revisión de la actual estructura del Premio Nacional de Investigación Rey Pastor. Debe concederse anual o, como mucho, bianualmente y con carácter específicamente matemático.
- 3) No hay reconocimientos específicos para los matemáticos y matemáticas entre 35 y 50 años. La situación para quienes tienen menos edad es mejor, pero debe potenciarse más.
- 4) Debe incrementarse el número de premios aunque la dotación sea menor, diversificando los criterios.
- 5) Se deberían conceder galardones a trabajos o resultados excelentes, de impacto en un área específica de las matemáticas o de áreas frontera con el conocimiento matemático.
- 6) Es necesario un posicionamiento colectivo ante las convocatorias de premios internacionales. En primer lugar, deben publicitarse adecuadamente por las vías de comunicación establecidas por las diferentes sociedades e instituciones animando a la presentación de candidaturas. Las sociedades matemáticas deben presentar solicitudes competitivas y procurar involucrar a miembros españoles en los jurados. Asimismo, hay que estimular la presentación de candidaturas a *fellow* de algunas sociedades relevantes como la AMS o la SIAM.

- 7) Hay que poner rostro a los premiados y las premiadas, dándoles una mayor visibilidad. Es una tarea clave mejorar el impacto social de los premios, de quienes los han recibido y las instituciones que los otorgan.
- 8) Hay que fomentar el patrocinio y mecenazgo de premios tanto en el sector público como el privado. Es un compromiso ineludible de las diferentes instituciones revertir a la sociedad una parte de sus beneficios empresariales en diferentes modalidades, de acuerdo con sus perfiles.
- 9) Se debe estimular la colaboración en el reconocimiento de la interdisciplinariedad en la investigación conjuntamente con otras sociedades científicas.
- 10) Compartir la experiencia de colegas en los jurados de premios nacionales e internacionales para mejorar el conocimiento y las buenas prácticas.
- 11) Debe, en particular, realizarse el papel de las mujeres matemáticas incrementando sustancialmente, sin menoscabo de los méritos, la proporción de premiadas.

## 6. ANEXO 1. PREMIOS

### 6.1. Premios de sociedades matemáticas nacionales

#### 6.1.1. *Real Sociedad Matemática Española (RSME)*

##### *PREMIOS JOSÉ LUIS RUBIO DE FRANCIA*

Es la más alta distinción otorgada por la RSME. Está dirigido a jóvenes que investiguen en matemáticas y sean de nacionalidad española o hayan realizado su trabajo en España. La primera edición fue en el año 2004 y se concede anualmente. Para concurrir es imprescindible no haber cumplido los 32 años al finalizar el año de la convocatoria.

2018: Joaquim Serra Montolí.

2017: Angelo Lucia.

2016: Xavier Ros-Oton.

2015: Roger Casals.

2014: Nuno Freitas.

2013: Ángel Castro Martínez.

2012: María Pe Pereira.

- 2011: Alberto Enciso Carrasco.  
2010: Carlos Beltrán.  
2009: Álvaro Pelayo.  
2008: Francisco Gancedo.  
2007: Pablo Mira Carrillo.  
2006: Santiago Morales Domingo.  
2005: Javier Parcet.  
2004: Joaquim Puig.

### *PREMIOS VICENT CASELLES*

Distinción anual a jóvenes de nacionalidad española cuyo trabajo doctoral sea pionero e influyente en la investigación internacional en matemáticas. La primera edición fue en el año 2015 y se conceden seis premios anuales. Hay que ser menor de 30 años, a 31 de diciembre del año de la convocatoria.

- 2019: Daniel Álvarez Gavela, María Ángeles García-Ferrero, Xabier García Martínez, Umberto Martínez Peñas, Carlos Mudarra Díaz-Malaguilla, Marithania Silvero Casanova.  
2018: David Beltrán, Álvaro del Pino, David Gómez Castro, David González Álvaro, Vanessa Guerrero, Carolina Vallejo Rodríguez.  
2017: Óscar Domínguez Bonilla, Javier Gómez Serrano, Angelo Lucia, María Medina, Marina Murillo, Beatriz Sinova, Félix del Teso.  
2016: Roger Casals, Francesc Castellà, Leonardo Colombo, José Manuel Conde Alonso, Martín López García, Jesús Yepes Nicolás.  
2015: Alejandro Castro Castilla, Jezabel Curbelo Hernández, Javier Fresán Leal, Rafael Granero Belinchón, Luís Hernández Corbato, Xavier Ros-Oton.

### *MEDALLAS DE LA RSME*

Las Medallas de la RSME son distinciones que expresan el reconocimiento público de la comunidad a personas destacadas por sus aportaciones en cualquier ámbito del quehacer matemático. Su primera edición fue la del año 2015.

- 2019: Marisa Fernández Rodríguez, Jesús María Sanz Serna, Sebastián Xambó Descamps.

- 2018: Juan Luis Vázquez, Adolfo Quirós, Consuelo Martínez.  
2017: Antonio Campillo López, Manuel de León Rodríguez, Marta Sanz-Solé.  
2016: José Bonet Solves, María Gaspar Alonso-Vega, María Teresa Lozano Imízcoz.  
2015: José Luis Fernández Pérez, Marta Macho Stadler, Antonio Martínez Naveira.

### *6.1.2. Sociedad Española de Matemática Aplicada (SEMA)*

#### *PREMIO ANTONIO VALLE*

El Premio Antonio Valle está destinado a promover la excelencia en el trabajo matemático original en todas las ramas de las matemáticas que tienen una componente aplicada. Su objetivo es reconocer la contribución personal del candidato o de la candidata. El premio fue instaurado en 1998 y es concedido cada año al o la joven de trayectoria más prometedora en matemática aplicada.

- 2019: Joaquim Serra.  
2018: Javier Gómez Serrano.  
2017: Xavier Ros-Oton.  
2016: Juan Calvo Yagüe.  
2015: Carmen Rodrigo.  
2014: Francisco Gancedo.  
2013: Alberto Enciso.  
2012: Santiago I. Badia Rodríguez.  
2011: David Pardo Zubiaur.  
2010: María Luisa Rapún Banzo.  
2009: Enrique D. Fernández Nieto.  
2008: María González Taboada.  
2007: José Ramón Fernández García.  
2006: Jorge Cortés.  
2005: Diego Córdoba Gazolaz.  
2004: Marco Antonio Fontelos López.

2003: José Antonio Carrillo.

2002: Carlos Castro.

2001: Javier Sayas.

2000: Mari Paz Calvo.

1999: Juan Casado.

1998: Ana Carpio.

### *6.1.3. Sociedad de Estadística e Investigación Operativa (SEIO)*

#### *PREMIOS INE, EDUARDO GARCÍA ESPAÑA*

El Instituto Nacional de Estadística (INE), como reconocimiento al avance de la estadística en España y en favor de la investigación y cooperación entre el mundo académico y el de la estadística oficial, promueve la creación de los Premios INE, Eduardo García España, en recuerdo del eminente estadístico. Para ello, colabora con la Sociedad de Estadística e Investigación Operativa (SEIO), organizadora de las Jornadas de Estadística Oficial, donde se entrega y presenta el premio.

2016: *A modern vision of official statistical production*, de David Salgado Fernández.

2015: *Consistent degrouping of population data. The problem of noise and age heaping*, de Silvia Bermúdez Parrado y Rafael Blanquero Bravo.

2013: *Proyección de los indicadores de mortalidad para España*, de Ana María Debón Aucejo, Francisco Martínez Ruiz, Francisco Montes Suay, Marta Moshuk.

### *6.1.4. Societat Catalana de Matemàtiques SCM*

#### *PREMIO ALBERT DOU*

Se instituyó en el año 2010 y tiene periodicidad bienal. Se otorga al autor o la autora de un trabajo que contribuya a hacer visible la importancia de la matemática en nuestro mundo, a transmitir el conocimiento matemático a un público más amplio que los especialistas y a promover todo aquello que ayude a la extensión del prestigio de la matemática en nuestra sociedad.

2016: Armengol Gasull, “L’infinit i més enllà”.

2014: T.G. Meyers y S.L. Mitchell, “A mathematical analysis of the motion of an in-flight soccer ball”.

2012: Arturo Valdivia, “Matemática financiera en tiempos de crisis”.

2010: Rosario Delgado, “Matemàtiques i Internet: 101 anys de teoria de cues”.

## 6.2. Premios de gobiernos autonómicos

### 6.2.1. Andalucía

#### *PREMIOS ANDALUCÍA DE INVESTIGACIÓN*

Los concede la Consejería de Economía, Innovación y Ciencia de la Junta de Andalucía y tienen varias modalidades. En modalidad ‘Ibn al Jatib’ en las áreas de humanidades y ciencias jurídico-sociales, ha sido premiado Luis Rico (UGR, didáctica de la matemática) en 2013.

#### *PREMIO JÓVENES INVESTIGADORES/AS DE LA REAL ACADEMIA SEVILLANA DE LAS CIENCIAS Y LA REAL MAESTRANZA DE SEVILLA*

Son concedidos a investigadores e investigadoras de Sevilla o que hayan realizado una parte importante de su trabajo en dicha ciudad. Los matemáticos y las matemáticas premiados desde 2000 han sido:

2012: Isabel Fernández Delgado.

2011: Francisco Gancedo García.

2009: Fernando Muro.

2008: Antonio Rojas León.

2006: María del Carmen Calderón Moreno.

2004: Antonio Langa.

2000: Juan Casado Díaz.

2000: Jorge Galán Vioque.

### 6.2.2. Cataluña

#### *PREMIO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN*

Premia al investigador o investigadora del Sistema Catalán de Investigación e Innovación o que desarrolle su actividad fuera de Cataluña, que haya contribuido internacionalmente al avance de una disciplina científica en cualquiera de sus

ámbitos: ciencias humanas y sociales, ciencias de la vida y de la salud, ingenierías y tecnología y ciencias experimentales. El premio consiste en una figura acreditativa del ceramista y escultor Jordi Serra y la cantidad de 40.000 euros. En 2012 fue galardonado el matemático Carles Simó.

#### *MEDALLA NARCÍS MONTURIOL*

Medalla que reconoce a las personas y entidades que han contribuido de manera destacada al desarrollo de la ciencia y la tecnología en Cataluña. Han sido premiados el matemático Carles Simó en 1994; las matemáticas Pilar Bayer, en 1997, y Marta Sanz, en 1998; y los matemáticos Carles Perelló, en 2002; Joaquim Bruna, en 2012; Jaume Llibre, en 2015; y Marc Noy, en 2019.

#### *6.2.3. Comunidad de Madrid*

##### *PREMIO DE INVESTIGACIÓN MIGUEL CATALÁN PARA INVESTIGADORES MENORES DE 40 AÑOS*

Se concede anualmente desde 2008. Han sido premiados los matemáticos Diego Córdoba Gazolaz en 2011 y David Pérez García en 2017.

#### *6.2.4. Galicia*

##### *PREMIOS DE INVESTIGACIÓN DE LA REAL ACADEMIA GALLEGA DE CIENCIAS*

Se convocan anualmente en dos modalidades:

- Premio a un trabajo de investigación científico-técnica realizado por investigadores o investigadoras consolidadas y dotado con 6.000 euros. Ha sido concedido a M<sup>a</sup> José Lombardía Cortiña en 2004 y Mención honorífica, al matemático Alberto Cabada y a la matemática Lorena Saavedra en 2016.
- Premio dedicado a la Promoción de Jóvenes Investigadores a un trabajo de investigación científico-técnica realizado por personas menores de 30 años y dotado con 2.000 euros. Hasta la fecha, ha sido otorgado a José Ángel Cid Araújo en 2004 y a Fernando Adrián Fernández Tojo en 2013.

### *PREMIOS A LA TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA DE GALICIA DE LA REAL ACADEMIA GALLEGA DE CIENCIAS Y LA AGENCIA GALLEGA DE INNOVACIÓN*

El Premio “Francisco Guitián Ojea” se concede a un trabajo de investigación aplicada y está dotado con 6.000 euros. Este galardón reconoce la creación, a cargo de un grupo de investigación, de una tecnología aún no transferida y de la que se derivan claras aplicaciones para el desarrollo socioeconómico de Galicia.

El Premio “Fernando Calvet Prats” se concede a un caso de éxito de transferencia de tecnología promovido por un grupo de investigación, está dotado con 6.000 euros y ha de ser fruto de la colaboración con una empresa. El premio se destina al grupo de investigación creador de la tecnología transferida y es válido cualquier mecanismo de transferencia desde el grupo a la empresa (adquisición de patente, proyecto conjunto, *spin-off*, etc.).

El Premio “Ricardo Bescansa Martínez”, con una cuantía de 6.000 euros, reconoce a un caso de éxito empresarial de implantación de tecnología transferida y también ha de ser en colaboración con un grupo de investigación gallego. El premio se destina a la empresa que haya implantado con éxito la tecnología transferida, siendo válido cualquier mecanismo de transferencia desde el grupo a la empresa (adquisición de patente, proyecto conjunto, *spin-off*, etc.).

### *PREMIO MARÍA JOSEFA WONENBURGER PLANELLS*

Lo otorga anualmente la Xunta de Galicia a través de la Unidad de Mujer y Ciencia a mujeres científicas. En 2016 fue premiada la matemática Peregrina Quintela Estévez.

#### *6.2.5. País Vasco*

### *PREMIO EUSKADI DE INVESTIGACIÓN*

Reconoce la excelencia de los investigadores y las investigadoras que hayan desarrollado, al menos, durante 12 años su carrera científica en Euskadi. Hasta el momento, han sido premiados los matemáticos Enrique Zuazua, en 2006, y Luis Vega, en 2012.

### 6.3. Premios nacionales

#### *PREMIO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN JULIO REY PASTOR*

El Premio Nacional de Investigación Julio Rey Pastor es un premio de matemáticas y tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) convocado por el Ministerio de Ciencia e Innovación de España. El premio se instauró en 2001 y pertenece, junto con otros nueve premios, a los Premios Nacionales de Investigación. Se suspendió por motivos económicos en 2013, pero volvió a convocarse en 2018. El objetivo de estos premios es el reconocimiento de los méritos del personal científico de nuestro país que realiza “una gran labor destacada en campos científicos de relevancia internacional, y que contribuyan al avance de la ciencia, al mejor conocimiento de las personas y su convivencia, a la transferencia de tecnología y al progreso de la Humanidad”.

2018: Ramón López de Mántaras (TIC).

2011: Antonio Córdoba Barba (MAT).

2009: José Francisco Duato Marín (TIC).

2007: Enrique Zuazua Iriondo (MAT).

2005: Manuel de Hermenegildo Salinas (TIC).

2003: Juan Luis Vázquez Suárez (MAT).

2001: Mateo Valero Cortés (TIC).

### 6.4. Premios de fundaciones y entidades privadas españolas

#### *PREMIOS FERRAN SUNYER I BALAGUER*

Se ofrece a una monografía matemática de carácter expositivo que presente los últimos desarrollos de un área activa de investigación, en la que sus autores y autoras hayan contribuido de manera importante. La dotación del premio es de 15.000 euros y la monografía ganadora se publica en la serie “*Progress in Mathematics*” de Birkhäuser.

2018: Michael Ruzhansky (Imperial College London) y Durvudkhan Suragan (Nazarbayev University, Kazakhstan). “Hardy inequalities on homogeneous groups” (100 years of Hardy inequalities).

- 2017: Antoine Chambert-Loir (Université Paris-Diderot Paris 7), Johannes Nicaise (Imperial College London) y Julien Sebag (Université Rennes 1) “Motivic Integration”.
- 2016: Vladimir Turaev (Indiana University) y Alexis Virelizier (Université Lille 1) Monoidal “Categories and Topological Field Theory” (*Progress in Mathematics* n. 322, Birkhäuser).
- 2014: Veronique Fischer i Michael Ruzhansky (Imperial College London) “Quantization on Nilpotent Lie Groups” (*Progress in Mathematics* n. 314, Birkhäuser).
- 2013: Xavier Tolsa (Universitat Autònoma de Barcelona) “Analytic capacity, the Cauchy transform, and non-homogeneous Calderón-Zygmund theory” (*Progress in Mathematics* n. 307, Birkhäuser).
- 2012: Angel Cano (Universidad Nacional Autónoma de México) y Juan Pablo Navarrete (Universidad Autónoma de Yucatán) y José Seade (Universidad Nacional Autónoma de México). “Complex Kleinian Groups” (*Progress in Mathematics* n. 303, Birkhäuser).
- 2011: Jayce Getz (McGill University, de Montreal) y Mark Goresky (School of Mathematics, Institute for Advanced Study, Princeton) “Hilbert Modular Forms with Coefficients in Intersection Homology and Quadratic Base Change” (*Progress in Mathematics* n. 298, Birkhäuser).
- 2010: Carlo Mantegazza (Scuola Normale Superiore di Pisa) “Lectures Notes on Mean Curvature Flow” (*Progress in Mathematics* n. 290, Birkhäuser).
- 2009: Tim Browning (Bristol University) “Quantitative Arithmetic of Projective Varieties” (*Progress in Mathematics* n. 277, Birkhäuser).
- 2008: Luis Barreira (Instituto Superior Técnico) “Lisboa Dimension and Recurrence in Hyperbolic Dynamics” (*Progress in Mathematics* n. 272, Birkhäuser).
- 2007: Rosa M. Miró-Roig (Universitat de Barcelona) “Lectures on Determinantal Ideals” (*Progress in Mathematics* n. 264, Birkhäuser).
- 2006: Xiaonan Ma (École Polytechnique Palaiseau) y George Marinescu (Johann-Wolfgang-Goethe Universität) “Holomorphic Morse inequalities and Bergman kernels” (*Progress in Mathematics* n. 254, Birkhäuser).
- 2005: Antonio Ambrosetti, and Andrea Malchiodi (SISSA, Italia) “Perturbation Methods and Semilinear Elliptic Problems on  $\mathbb{R}^n$ ” (*Progress in*

- Mathematics* n. 240, Birkhäuser) y José Seade (UNAM, México) “On the Topology of Isolated Singularities in Analytic Spaces” (*Progress in Mathematics* n. 241, Birkhäuser).
- 2004: Guy David (Université de Paris-Sud) “Singular Sets of Minimizers for the Mumford-Shah Functional” (*Progress in Mathematics* n. 233, Birkhäuser).
- 2003: Fuensanta Andreu-Vaillo y José M. Mazón (Universitat de València) y Vicent Casellas, (Universitat Pompeu Fabra) “Parabolic Quasilinear Equations Minimizing Linear Growth Functionals” (*Progress in Mathematics* n. 223, Birkhäuser).
- 2002: Alexander Lubotzky y Dan Segal (Hebrew University of Jerusalem y All Souls College, Oxford) “Subgroup Growth” (*Progress in Mathematics* n. 212, Birkhäuser) y André Unterberger (Université de Reims) “Automorphic Pseudodifferential Analysis and Higher-level Weyl Calculi” (*Progress in Mathematics*, n. 209, Birkhäuser).
- 2001: Martin Golubitsky y Ian Stewart (University of Houston, Warwick University) “The Symmetry Perspective” (*Progress in Mathematics*, n. 200, Birkhäuser).
- 2000: Juan-Pablo Ortega y Tudor Ratiu (École Polytechnique Fédérale de Lausanne) “Hamiltonian Singular Reduction” (*Progress in Mathematics* n.222, Birkhäuser).
- 1999: Patrick Dehornoy (Université de Caen) “Braids and Self-Distributivity” (*Progress in Mathematics*, n. 192, Birkhäuser).
- 1998: Juan J. Morales-Ruiz (Universitat Politècnica de Catalunya) “Differential Galois Theory and Non-integrability of Hamiltonian Systems” (*Progress in Mathematics*, n. 179, Birkhäuser).
- 1997: A. Böttcher (TU Chemnitz) y Y. I. Karlovich (Marine Hydrophysical Institute) “Carleson Curves, Munchenhaupt Weights, and Toeplitz Operators” (*Progress in Mathematics*, n. 154, Birkhäuser).
- 1996: V. Kumar Murty y M. Ram Murty (University of Toronto) “Non-Vanishing of L-Functions and Applications” (*Progress in Mathematics* n. 157, Birkhäuser).
- 1994: Klaus Schmidt (Warwick University) “Dynamical Systems of Algebraic Origin” (*Progress in Mathematics* n. 128, Birkhäuser).

1993: Alexander Lubotzky (Hebrew University of Jerusalem) “Discrete Groups, Expanding Graphs and Invariant Measures” (*Progress in Mathematics* n. 125, Birkhäuser).

#### *PREMIO DE LA FUNDACIÓN PRINCESA DE GIRONA DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA*

Dirigido a premiar a jóvenes científicos y científicas con proyectos o experiencias de investigación destacadas en su disciplina, emprendedoras, innovadoras y con un elevado potencial de desarrollo futuro. Aspira a ser un referente a nivel estatal en el apoyo en su avance profesional y personal, poniendo un interés especial en la detección de jóvenes con talento que sirvan de referentes contemporáneos a otras personas en sus mismas condiciones. Han recibido este galardón hasta la fecha los matemáticos Alberto Enciso, en 2014, y Xavier Ros-Oton, en 2019.

#### *PREMIO FUNDACIÓN REI JAUME I EN INVESTIGACIÓN BÁSICA*

Estos premios fueron creados en 1989 con el objetivo de favorecer el acercamiento de estudios e investigación entre las distintas entidades científicas y las empresariales para la promoción de la investigación y el desarrollo científico en España. El matemático Xavier Tolsa fue premiado en 2019.

#### *PREMIO FUNDACIÓN BANCO SABADELL A LAS CIENCIAS Y LA INGENIERÍA*

Tiene como objetivo reconocer la trayectoria de jóvenes talentos en el campo de las ciencias y la ingeniería. El Premio Fundación Banco Sabadell a las Ciencias y a la Ingeniería cuenta con la colaboración del BIST (Barcelona Institute of Science and Technology). En 2019 fue galardonado el matemático David Pérez García.

#### *REAL ACADEMIA DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES*

En 2013 se concedió a David Pérez García el Premio Real Academia de Ciencias - Fundación Endesa en Ciencias Matemáticas para investigadores e investigadoras menores de 40 años.

## 6.5. Premios y reconocimientos internacionales otorgados a matemáticos/as españoles/as

### *EUROPEAN MATHEMATICAL SOCIETY (EMS)*

Premios concedidos en el Congreso Europeo de Matemáticas (European Congress of Mathematics, ECM): Ricardo Pérez-Marco, en 1996, y Xavier Tolsa, en 2004.

### *FELLOWS Y PREMIOS DE SOCIEDADES CIENTÍFICAS*

**Fellows AMS:** Xavier Cabré, Gabriel Navarro, Jesús María Sanz-Serna, Luis Vega y Juan Luis Vázquez.

**Fellows IMS:** Evarist Giné, David Nualart, Wenceslao González-Manteiga y Marta Sanz-Solé.

**Fellows SIAM:** Jesús María Sanz-Serna, Froilán Martínez Dopico, José Antonio Carrillo de la Plata y Ernesto Estrada.

**Centennial Fellowship of AMS:** Rafael de la Llave.

**Premio Jacques-Louis Lions (*Institut de France. Academie des Sciences*):** concedido a Jesús Ildefonso Díaz Díaz en 2015.

**Humboldt Research Award:** Marc Noy

**Humboldt Professorship:** Enrique Zuazua

**Premio Humboldt:** Francisco Santos

**Premio Salem (*Princeton University e Institute for Advanced Study*):** concedido a Xavier Tolsa en 2002.

**Premio Stephen Smale (*Society for the Foundations of Computational Mathematics*):** concedido a Carlos Beltrán en 2014.

**Premio Lucien Godeaux (*Société De Sciences de Liège*):** concedido a Alfred Peris Manguillot en 1995.

**Premio Richard von Mises (*International Association of Applied Mathematics and Mechanics*):** concedido a José Antonio Carrillo de la Plata en 2006.

**Premio R.E. Moore for Applications of Interval Analysis:** concedido a Jordi-Lluís Figueras, Alex Haro y Alejandro Luque en 2018.

**Premio Germund Dahlquist (*Society for Industrial and Applied Mathematics*):** concedido a Jesús María Sanz-Serna en 1995.

## 7. ANEXO 2. ENCUESTA PARA EL BLOQUE DE PREMIOS EN EL LIBRO BLANCO DE LA RSME

Como trabajo de campo que justificara las recomendaciones en un futuro, se elaboró una encuesta con la que se pretendía recabar las opiniones de destacados científicos y científicas de nuestro país en el ámbito de las matemáticas. El principal propósito era aportar testimonios directos relacionados con sus experiencias en el ámbito de premios y reconocimientos científicos.

Las preguntas formuladas fueron las siguientes:

- 1) ¿Cuál es tu valoración de los premios científicos en matemáticas que se otorgan en España?
- 2) ¿Consideras conveniente una priorización de criterios tipo intervalo de edad, resultado más relevante en áreas específicas, reconocimiento de trayectoria?
- 3) ¿Cuáles son los criterios a seguir en la composición de los jurados que otorgan los premios por parte de las sociedades científicas?
- 4) ¿Cómo impulsar el reconocimiento de matemáticos y matemáticas españolas en convocatorias de premios en el extranjero?
- 5) ¿Deseas añadir algún comentario más que pueda ser relevante en relación con los premios y reconocimientos?

Esta encuesta fue distribuida entre 40 matemáticas y matemáticos españoles, recibándose 30 respuestas, cuyas aportaciones más destacadas son las siguientes:

### 1. ¿Cuál es tu valoración de los premios científicos en matemáticas que se otorgan en España?

- 1) Hay pocos premios.
- 2) Faltan premios para investigadores e investigadoras de 35-50 años (mediana edad).
- 3) Debería haber un premio nacional de matemáticas anual (o bienal) y separado de informática.
- 4) Los premios a jóvenes están bien establecidos y tienen cierto prestigio internacional.

- 5) En el ámbito de las sociedades matemáticas hay una buena oferta de premios con variedad de objetivos y bien valorados por la comunidad matemática.
- 6) Considerar la inclusión de premios a trabajos o resultados excepcionales y especialmente destacados.
- 7) El número de premios Vicent Caselles es excesivo. Es muy difícil distinguir a partir del tercer premiado y el décimo candidato.
- 8) No olvidar que el premio más importante para cualquier matemático activo es una plaza.

**2. ¿Consideras conveniente una priorización de criterios tipo intervalo de edad, resultado más relevante en áreas específicas, reconocimiento de trayectoria?**

- 1) Es fundamental que cada premio tenga unos objetivos claros. Una vez determinados estos, la priorización de criterios resulta bastante natural.
- 2) Las preferencias van hacia los premios para jóvenes y de reconocimiento de trayectoria.
- 3) Faltan premios para investigadores e investigadoras de 40-50 años (mediana edad).
- 4) Son necesarios más premios sobre el reconocimiento de una trayectoria y sobre resultados relevantes.
- 5) Se deben valorar las publicaciones en solitario de los y las jóvenes.
- 6) Un premio al resultado más relevante por una persona o un grupo de personas, en un periodo amplio de tiempo, sería una buena idea.
- 7) Aumentar la edad del premio JLRF: teniendo en cuenta que normalmente los mejores artículos matemáticos (en general, más largos y/o más difíciles de revisar) se aceptan hasta dos, e incluso tres, años después de ser enviados por primera vez a una revista, se da la situación que los únicos artículos aceptados antes de los 32 años (como pide el premio JLRF) son los artículos de la tesis. Creo que sería mejor ampliar tres años la edad límite del premio JLRF para incluir las aportaciones postdoctorales, y así distinguirlo más del Premio Vicent Caselles.
- 8) Para los Vicent Caselles, se podrían dividir las matemáticas en cinco subcampos, dar uno para cada subcampo y reservar el sexto (creo que

son seis) para alguien meritorio que no hubiera tenido acomodo en los subcampos por ser más interdisciplinar.

### **3. ¿Cuáles son los criterios a seguir en la composición de los jurados que otorgan los premios por parte de las sociedades científicas?**

- 1) Experiencia y pericia, equilibrio (temático, género, generacional), buen juicio (personas reconocidas por un buen hacer), ética (ausencia de sesgo, respeto al principio de abstención en presencia de conflicto de interés).
- 2) La actitud ética y ecuánime es muy importante.
- 3) Miembros del jurado con reconocido prestigio y, preferiblemente, con algún premio.
- 4) Presencia de miembros extranjeros.
- 5) Jurados con experiencia, sentido común, criterio propio y capacidad de diálogo.
- 6) Calidad científica y académica de sus miembros y un grado adecuado de transversalidad temática.
- 7) Equilibrio por géneros (pero sin paridad), áreas y edades.
- 8) Rotación frecuente de personas y áreas de conocimiento, tratando de evitar posibles amiguismos.
- 9) Evitar el elitismo de jurados en ciertas áreas de las matemáticas.
- 10) Al formar jurados habría que tratar de identificar personas que además de poseer buena trayectoria profesional tuvieran buen juicio y equidad.
- 11) Diversidad de áreas en los jurados.
- 12) Transparencia en la información sobre la constitución de los jurados. Por ejemplo, en los premios nacionales es pública.
- 13) Se debe evitar poner en los jurados a personas que han sobresalido como gestores y cargos “políticos” y no como científicos.

### **4. ¿Cómo impulsar el reconocimiento de matemáticos y matemáticas españolas en convocatorias de premios en el extranjero?**

- 1) Con la elección bien fundamentada y meditada de los candidatos y las candidatas. Mejor pocas personas aspirantes (o incluso una sola) y muy

competitivas que varias. Preparación impecable de las candidaturas, exponiendo de manera concisa pero convincente los méritos de las personas solicitantes. Cartas de referencia de personas relevantes que puedan dar sus opiniones sin conflicto de interés (credibilidad).

- 2) Dar publicidad de las convocatorias a premios internacionales entre las personas candidatas potenciales españolas más idóneas.
- 3) Debe buscarse la presencia de españoles y españolas en los jurados.
- 4) Dar difusión de los premios y hacer propuestas razonables.
- 5) Las sociedades o instituciones deben presentar candidaturas. Y los candidatos y las candidatas deben ser muy sólidos.
- 6) Dar visibilidad a nuestros premios puede ayudar en el extranjero.
- 7) Presentar candidaturas de matemáticas y matemáticos españoles a premios como el EMS Prize.
- 8) Presentar candidaturas a *fellow* de la AMS o SIAM.
- 9) La RSME, quizás en colaboración con otras instituciones, podría tener un comité que propusiera candidaturas de matemáticos y matemáticas españolas a los diversos premios que se convocan, tanto en España, como en el extranjero.

##### **5. ¿Deseas añadir algún comentario más que pueda ser relevante en relación con los premios y reconocimientos?**

- 1) La existencia de premios no es solo un incentivo y un reconocimiento a los investigadores y las investigadoras, sino también una forma de que la ciencia, en este caso las matemáticas, esté presente en los medios de comunicación y, a través de ellos, en la sociedad. Los galardones crean referentes sociales que contribuyen a atraer el talento a la investigación científica y a prestigiar esta actividad.
- 2) Las sociedades matemáticas pueden (y deberían) jugar un papel importante en la presentación de candidatos y candidatas a premios extranjeros y en la gestación de solicitudes, calibrando las posibilidades de éxito y proponiendo, si es conveniente, filtros.
- 3) Hay demasiadas tensiones internas que generan conflictos.
- 4) Es conveniente crear premios en las áreas que se consideren prioritarias.

- 5) Se debe potenciar el nombramiento de matemáticos y matemáticas españolas como Doctores Honoris Causa.
- 6) La seriedad en la selección de los premiados y las premiadas es muy importante. La elección de alguien que manifiestamente no lo merece repercute muy negativamente.
- 7) La carencia de premios suficientes otorgados prioritariamente por razones de excelencia está desanimando a la minoría más activa de la hoy numerosa sociedad matemática.
- 8) Ampliar la edad del premio JLRF y considerar la posibilidad de darlo compartido.
- 9) La Real Academia de Ciencias debería dar un premio de matemáticas de manera periódica.
- 10) Sería interesante la creación de premios de educación, de divulgación, de libros...
- 11) Se debe plantear la posibilidad de dar galardones a grupos.

## 8. REFERENCIAS

S. Smale, Mathematics: frontiers and perspectives In Mathematical problems for the next century, American Mathematical Society, Providence RI, pp. 271-294, 2000.

<https://www.abelprize.no>

<https://www.mathunion.org/imu-awards/imu-awards-prizes-and-special-lecture>

[https://es.wikipedia.org/wiki/Medalla\\_Fields](https://es.wikipedia.org/wiki/Medalla_Fields)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Wolf\\_Prize](https://en.wikipedia.org/wiki/Wolf_Prize)

<http://www.iciam.org/prizes-and-recognitions>

<https://euro-math-soc.eu/prizes-awarded-european-mathematical-society>

<https://www.ams.org/prizes-awards/palist.cgi>

<https://www.siam.org/prizes-recognition/major-prizes-lectures>

<https://www.claymath.org/millennium-problems>

<https://ffsb.espais.iec.cat/>

<http://es.fpdgi.org/proyectos/premios-fpdgi/>

<http://www.fprj.es/>

<https://www.fundacionbancosabadell.com/convocatorias/>

[http://www.rac.es/0/0\\_1.php](http://www.rac.es/0/0_1.php)

<https://www.rsme.es/category/premios/>

<https://scm.iec.cat/premis-i-ajuts/>

<https://www.sema.org.es/es/premios/premio-sema-antonio-valle-al-joven-investigador>

<http://www.seio.es/InfoSEIO/>

<http://www.ciencia.gob.es/portal/site/MICINN/menuitem.7eeac5cd345b4f34f09dfd1001432ea0/?vgnextoid=82957edcc0186610VgnVCM1000001d04140aRCRD>

<https://www.euskadi.eus/informacion/premio-euskadi-de-investigacion/web01-a2hunib/es/>

<https://www.premiosfronterasdelconocimiento.es>

## CONCLUSIONES

La elaboración del Libro Blanco nos ha permitido disponer de una visión precisa de la situación actual de las matemáticas en España desde diferentes perspectivas, lo que nos hace visualizar, con datos objetivos, algunas de sus fortalezas y sus debilidades. Por ello, como colofón de este Libro Blanco, consideramos pertinente presentar un conjunto de recomendaciones y acciones de futuro para mejorar la situación de las matemáticas en España, en forma de 64 puntos con acciones concretas, que consideramos aplicables a otras disciplinas científicas.

Por otro lado, el informe sobre el impacto económico de las matemáticas de la Red Estratégica de Matemáticas (REM) nos ha dotado de datos cuantitativos que avalan la importancia de las matemáticas para la economía española, lo que realza, aún más, la trascendencia y oportunidad del presente estudio.

Como conclusión general, debemos señalar que las matemáticas en España han alcanzado su punto álgido de desarrollo en los últimos años, con un nivel internacional en investigación comparable, e incluso mejor, al que corresponde por su potencial económico. Actualmente, muchos planes de estudio universitarios están armonizados, las titulaciones de matemáticas reciben al alumnado más cualificado, los programas de estímulo y atracción de estudiantes tienen un notable impacto y éxito, pero sin embargo, en temas educativos queda aún mucho camino por recorrer. Un factor extremadamente preocupante es la situación laboral precaria de los y las jóvenes al incorporarse al ámbito docente e investigador.

Sobre la incorporación de la mujer a la profesión matemática se han detallado situaciones muy significativas en numerosos aspectos como en el acceso a los grados, másteres y doctorados de matemáticas, la participación en la Olimpiada Matemática, la incorporación a universidades, empresas y centros de investigación... Todo ello hace necesario plantear medidas de choque urgentes para tratar de paliar esta brecha de género.

Como diagnóstico general, la situación de las matemáticas en investigación y salidas profesionales en España se puede considerar como satisfactoria en la actualidad. Sin embargo, se empiezan a notar los efectos de la reducción drástica de la financiación ocasionada por diez años de crisis económica sin una recupe-

ración efectiva que pueden hacer peligrar seriamente su comportamiento futuro. En educación primaria y secundaria la situación en este respecto es aún más preocupante.

En este último sentido, creemos que las conclusiones que aparecen a lo largo de este Libro Blanco y las 64 acciones que se proponen deben servir como un marco inicial para una reflexión y debate profundos sobre la situación de las matemáticas y su desarrollo futuro en nuestro país.

Empezaremos por señalar algunos de los problemas de la situación de las matemáticas en la actualidad.

## 1. EDUCACIÓN MATEMÁTICA EN PRIMARIA Y SECUNDARIA

1. En la educación primaria y secundaria, la **falta de estabilidad normativa** con continuos cambios y/o parches legislativos produce un efecto nocivo para lograr un aprendizaje eficiente del alumnado y, en particular, en su educación matemática. Sin embargo, estas sucesivas reformas educativas apenas han alterado el enfoque curricular básico cargado en exceso de contenidos.
2. No se debe perder nunca de vista que la premisa principal en la educación matemática es la **adquisición de competencias matemáticas**, que tienen como ingredientes esenciales el pensamiento, el razonamiento y la resolución de problemas. Actualmente, es frecuente que la enseñanza de las matemáticas se reduzca a procedimientos y rutinas.
3. Respecto a las políticas educativas, se han constatado insuficiencias en cuanto a la atención a la diversidad en la enseñanza de las matemáticas escolares. A día de hoy, aún existe **falta de equidad** en las oportunidades de una formación matemática permanente para el alumnado con necesidades educativas de atención específicas.
4. Necesidad de mejora en la atención al alumnado **con talento matemático**.
5. Se observan preocupantes **deficiencias en la formación del profesorado** de Matemáticas que se incorpora en el sistema educativo. Algunos de ellos proceden de áreas totalmente ajenas a las matemáticas y, en consecuencia, con poca formación en nuestra área de conocimiento. La situación se agrava aún más con la escasa formación matemática del profesorado de primaria.

Una de las posibles causas de lo anterior es que las personas graduadas en Matemáticas pueden encontrar numerosas salidas profesionales bien remuneradas en el **sector privado** (véase el capítulo “Salidas Profesionales de las Matemáticas”), por lo que muchos de ellos no se interesan por puestos docentes en niveles educativos no universitarios.

6. Se observa que la **formación continua del profesorado** de Matemáticas en primaria y secundaria es escasa, dispersa y muchas veces desligada de técnicas educativas matemáticas útiles en el aula.
7. Se destaca que, especialmente el **último curso de bachillerato**, se dedica, en la práctica, a preparar única y exclusivamente la prueba de Evaluación del Bachillerato para el Acceso a la Universidad. Esto, sin lugar a dudas, da lugar a un empobrecimiento de la enseñanza y el aprendizaje de las matemáticas, que repercute en una falta de solidez matemática en el alumnado en los primeros cursos de la universidad.
8. Los currículos españoles de la asignatura de Matemáticas son en general muy **extensos**. Al intentar completar el programa, suele ocurrir que se ponga más énfasis en los procedimientos de cálculo que en el razonamiento y la creatividad.
9. Hay una **desconexión** palpable entre las diferentes etapas educativas: principalmente secundaria/universidad y, en menor grado, primaria/secundaria, lo que muestra la necesidad de coordinar dicha transición.

## 2. ESTUDIOS DE MATEMÁTICAS EN EL MARCO UNIVERSITARIO

1. La mayor empleabilidad actual de las matemáticas se ha traducido en que los **grados y másteres en matemáticas sean muy demandados**. Existe el peligro de que se ofrezcan titulaciones nuevas relacionadas con las matemáticas, de poca calidad académica, que devalúen el nivel de la enseñanza actual.
2. Los **estudios de doble grado** se han diseñado frecuentemente sin los adecuados medios humanos y materiales. Es frecuente que el alumnado de los dobles grados compartan clase y profesorado con los de los grados produciendo situaciones anómalas en el nivel de exigencia.
3. El **número de personas egresadas en Matemáticas** es, en estos momentos, insuficiente para la creciente demanda laboral de esta titulación.

4. Las **altas tasas de abandono** en el Grado de Matemáticas constituyen un tema que requiere de una cuidada atención. Se debe analizar si este problema está mejorando con el incremento de la nota de acceso en los grados en Matemáticas.
5. La situación de las **matemáticas en otras titulaciones es especialmente grave**, al reducirse de un modo drástico el número de créditos con los nuevos planes de estudio. Esta situación se hace patente, por ejemplo, en las ingenierías que, anteriormente, tenían una formación muy sólida en matemáticas, lo que las hacía muy competitivas internacionalmente. También se ha detectado que frecuentemente los planes de estudio de matemáticas en estas titulaciones no están adaptados a sus necesidades concretas.
6. Se observa que, en las Facultades de Economía y Empresa, el acceso desde bachillerato con las **Matemáticas Aplicadas a las Ciencias Sociales I y II** proporcionan una formación claramente deficiente.
7. Uno de los principales factores del prestigio de los estudios actuales de matemáticas se debe, en parte, a que los grados son de cuatro años de duración y un año de máster (**4+1**). Sin embargo, esto puede producir disfunciones con respecto a otros países europeos, en los que es más frecuente el modelo 3+2, más parecido a las antiguas licenciaturas. Otro problema relacionado es el alto precio de los másteres de matemáticas en algunas universidades españolas y las diferencias notables entre comunidades.
8. Hay una **inflación en la oferta de másteres de matemáticas** y se desaprovechan las capacidades y sinergias del colectivo del profesorado y personal investigador en matemáticas, que podrían dar lugar a ofertas muy potentes.
9. Se observa, en algunos casos, un cierto **desajuste entre la formación del máster y la formación predoctoral**, que tensiona el sistema, especialmente, para aquellos másteres cuya función principal es la formación de las personas graduadas como antesala al doctorado. Ello puede ser debido a un enfoque demasiado orientado a la actividad profesional y poco a la investigación, o porque esta enseñanza en ocasiones no se regula con el mismo rigor que los grados.
10. Los grados y másteres en matemáticas que se imparten en España no han conseguido atraer **estudiantes del extranjero** en la misma medida que ocurre en universidades de prestigio internacional.

### 3. INVESTIGACIÓN EN MATEMÁTICAS

1. Los **contratos predoctorales FPU (Formación del Profesorado Universitario)** son solicitados en media por un 7% de personas extranjeras. Esta proporción es claramente insuficiente si la comparamos con países referentes en matemáticas. Esto es achacable a una convocatoria demasiado local y con requisitos burocráticos complejos (o inasumibles) para candidatos no nacionales. Independientemente de ello, se cubren todas las plazas con candidaturas con excelente nivel académico.
2. Los **contratos predoctorales FPI (Formación del Personal Investigador)**, también de difícil acceso para personas con una titulación extranjera, muestran un comportamiento muy deficiente en el área de matemáticas. La tasa de abandono, en torno al 27%, y el número de contratos que se quedan vacantes en nuestra área son datos muy negativos, lo que hace necesario plantear un análisis riguroso sobre los problemas de este programa: fechas de la convocatoria, posibilidad de solicitar una sola ayuda... Sin embargo, estas deficiencias parecen ser mayores en matemáticas que en otras áreas científicas, lo que merecería una reflexión colectiva sobre esta situación.
3. Los **contratos predoctorales propios de universidades y comunidades autónomas** o con **financiación privada** son claramente insuficientes. Una excepción a destacar, como muy positiva, es la apuesta de la Fundación La Caixa, tanto en contratos predoctorales como posdoctorales, evaluados con criterios científicos equiparables internacionalmente.
4. El éxito de los programas posdoctorales **Juan de la Cierva** y **Ramón y Cajal** se ha visto reflejado en el estudio realizado en el Libro Blanco. Sin embargo, el número de contratos y el salario ofrecido son claramente insuficientes para captar talento matemático internacional y dar continuidad a la carrera profesional de investigadores e investigadoras nacionales. Del mismo modo, el hecho de que las convocatorias no estén disponibles completamente en inglés hace que estos contratos no sean más competitivos a nivel internacional.
5. Gran parte del personal investigador joven formado en España ha continuado su etapa posdoctoral en el extranjero, completando su formación y adquiriendo nuevas competencias investigadoras. Sin embargo, no hay un programa claro, estable y con validación internacional para **incor-**

**porar talento al sistema investigador español.** Desde el punto de vista económico (obviando el más importante, el humano) es una dramática pérdida de recursos.

6. Una cierta **concentración de recursos** en centros de referencia puede hacer que mejore la calidad de la investigación matemática y la posibilidad de tener éxito en convocatorias internacionales. Se ha analizado con detalle los ejemplos del CRM, BCAM, ICMAT e ITMATI. Así mismo, algunos departamentos e institutos universitarios (por ejemplo, IEMath-Gr, IMUS, UPC...) están también alcanzando un excelente nivel competitivo; sin embargo, otros tienen actualmente un funcionamiento que se debe impulsar institucionalmente.
7. Instituciones como **ICREA e IKERBASQUE** son ejemplos de éxito en Cataluña y País Vasco, respectivamente, y permiten captar excelencia científica nacional e internacional. Se deberían poner en marcha programas similares en otras comunidades autónomas, así como a nivel nacional.
8. Las **publicaciones científicas** en España han mostrado una estimable mejora tanto en número de citas como en el nivel de las revistas. Sin embargo, no parece que todavía hayan aparecido los presumibles efectos de la crisis económica y el envejecimiento de las plantillas.
9. La **excesiva burocratización** en la gestión de proyectos y recursos humanos, con formularios rígidos y no unificados, es una auténtica rémora del sistema de investigación español.
10. La **transferencia matemática** en España es muy deficiente y poco articulada, aunque se destacan resultados alcanzados en comunidades autónomas como Galicia, Cataluña y Euskadi. Además, frecuentemente, la transferencia realizada por grupos multidisciplinares, en los que los matemáticos y las matemáticas son una parte importante de los equipos de trabajo, se atribuye a otras áreas.
11. Los **criterios de evaluación** basados en números de publicaciones, citas y/o recursos económicos captados suelen ser muy dispares y no deben ser utilizados sin un contraste científico preciso. Es claro que la evaluación por pares es la única fiable.
12. La **financiación** en el área de matemáticas es claramente insuficiente, con convocatorias desacompañadas en el tiempo. Esto está dañando el potencial de muchos grupos de investigación.

13. Los distintivos **Maria de Maeztu** y **Severo Ochoa** han sido cruciales para un salto de calidad de muchos centros. Sin embargo, se han observado algunas disfunciones tanto en los requisitos administrativos (cambiantes, y algunos con escasa base científica) como en el procedimiento de concesión, al aplicar criterios no adaptados para matemáticas que difícilmente cumplirán centros matemáticos de excelencia internacionales. También, es claro que el número de centros de matemáticas no refleja la calidad alcanzada en muchos de ellos.

#### 4. POLÍTICAS DE GÉNERO Y MATEMÁTICAS

1. Los estudios que sustentan los diferentes capítulos muestran una **insuficiente incorporación de mujeres**, especialmente en el ámbito de la universidad, la investigación y en el sector privado. Aunque la brecha de género se va superando, paulatinamente, es claro que los progresos son insuficientes y, actualmente, tenemos una pérdida de talento matemático femenino que debemos subsanar con carácter urgente.
2. Otro problema detectado es la **baja autoestima** que declaran las jóvenes estudiantes al afrontar una materia como las matemáticas. Está comprobado que, frecuentemente, las alumnas, aun obteniendo mejores notas en Matemáticas, perciben erróneamente que no son tan buenas en esta materia como sus compañeros varones y manifiestan que tienen que dedicarle más esfuerzo a esta asignatura para superarla satisfactoriamente. Esto ha sido comprobado por diversos estudios que muestran que los estereotipos sociales hacen creer que las mujeres no tienen una clara predisposición para las matemáticas.
3. Las jóvenes estudiantes, en mayor medida que sus compañeros varones, encuentran frecuentemente las **matemáticas alejadas** de la realidad cotidiana.
4. Diversas experiencias han puesto de manifiesto que las mujeres aprenden mejor en ambientes donde existe un clima de cooperación sin alentar una excesiva competitividad. Este hecho puede motivar la **escasa participación de mujeres en las Olimpiadas Matemáticas**.
5. Las estudiantes que optan por carreras universitarias prefieren apostar por aquellas que tengan **menos materias de contenidos matemáticos**.

Convendría analizar los motivos para paliar este problema y buscar estrategias para solucionarlo.

6. El **efecto tijera** y el **techo de cristal** para los puestos de mayor categoría profesional y salarial son realidades avaladas por datos precisos.
7. La **carrera investigadora es muy exigente**. Cualquier interrupción en la misma supone un obstáculo que dificulta la promoción futura. Este hecho es una de las causas de que algunas mujeres opten, de inicio, por no apostar por una trayectoria investigadora.
8. No hay suficientes **referentes femeninos** en los textos de matemáticas, ni en los medios de comunicación, lo que, inconscientemente, puede hacer suponer que los estudios de matemáticas tienen un perfil marcadamente masculino. A muchas mujeres se las llama desde los medios de comunicación para hablar de mujeres científicas pero no como expertas matemáticas.

## 5. SALIDAS PROFESIONALES

1. Nuestro estudio de las salidas profesionales muestra que el número de personas tituladas en Matemáticas que optan por desarrollar iniciativas emprendedoras que se beneficien de su formación y conocimientos es escaso.
2. Si bien el estudio de las salidas profesionales de los y las tituladas en Matemáticas indica que la mayoría trabajan en tareas altamente cualificadas, el porcentaje de quienes piensan que desarrollan un trabajo más sencillo que sus estudios universitarios es superior entre las mujeres que entre los hombres.

## 6. INTERNACIONALIZACIÓN

1. La **representación de matemáticos y matemáticas de España** en órganos de decisión de organizaciones internacionales (IMU, EMS, ERC...) es sustancialmente mejorable. Se debería apoyar la participación de la matemática española en convocatorias internacionales tipo H2020 o de fundaciones privadas.
2. La presencia de la matemática española en **eventos internacionales** (conferenciantes invitados en ICM, ECM...) ha sido muy escasa.

3. El **apoyo de los organismos públicos** a la internacionalización de las matemáticas debe ser reforzado. Esto es patente en el pago de cuotas en organizaciones internacionales (por ejemplo, International Mathematical Union) o la financiación estable de la participación de nuestro país en la Olimpiada Matemática Internacional y en la Iberoamericana.

## PROPUESTAS DE ACCIÓN

Como reflexión propia y complementaria en relación al estudio previamente realizado en los capítulos del Libro Blanco por los diferentes grupos de trabajo, se presentan a continuación un conjunto de propuestas de acción que han sido discutidas en la Junta de Gobierno de la RSME.

- 1) Como reflexión general, resaltamos la necesidad de formalizar un **Pacto Educativo y por la Ciencia** en España entre las principales formaciones políticas como un objetivo ineludible si se quiere estabilizar y garantizar la formación de las generaciones futuras.
- 2) Las sociedades y organizaciones científicas deben gozar de un mayor protagonismo de cara a la **elaboración y seguimiento de políticas educativas e investigadoras** desde las diversas administraciones.

Resulta sorprendente cómo las diferentes administraciones se rodean de “expertos” cuya selección se lleva a cabo mediante criterios no publicitados. Más sorprendente es que no se cuente con las organizaciones científicas que tienen personal cualificado y comisiones especializadas en diferentes temas.

La RSME, con el apoyo de los organismos públicos y privados, podría organizar una base de datos de personas expertas, tanto en educación como en las distintas ramas investigadoras de matemáticas, para ponerla a disposición de los agentes que definen y llevan a cabo las políticas educativas, de investigación y transferencia en nuestro país.

- 3) Tanto en docencia como investigación es necesario **ofrecer salarios competitivos**, pues es complicado atraer talento. Así mismo, se deben adoptar medidas de acción positiva para la **conciliación** de la vida personal, familiar y laboral en todos los sectores profesionales.

### Educación matemática en primaria y secundaria

- 4) En el diseño de los **planes de estudio de Matemáticas** en los diferentes niveles educativos deben participar las sociedades de profesorado de Matemáticas y la RSME, entre otros interlocutores.

- 5) Se deben realizar recomendaciones independientes sobre los **libros de texto (y otros recursos)** más adecuados para cada curso, así como orientaciones metodológicas concretas basadas en la didáctica de la matemática. Como ejemplo, la RSME fomentará la elaboración de material educativo dentro de la colección RSME-SM (u otras similares) y de material específico para ayudar al profesorado a favorecer **vocaciones científicas entre las alumnas** y contrarrestar estereotipos.
- 6) Los **planes de formación continua del profesorado de primaria y secundaria de Matemáticas** deben contar con una oferta atractiva y de calidad para la mejora de la educación matemática. En el diseño de dichos  **cursos** deben participar preceptivamente las sociedades de profesorado de Matemáticas y la RSME, así como otros interlocutores como, por ejemplo, las universidades, Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales y otras sociedades científicas.

Se debe prestar una especial atención en la preparación de cursos específicos para formar al personal docente en el tratamiento del problema de la brecha de género en las aulas.

- 7) Se debe hacer **compatible** la impartición de asignaturas de actualidad y futuro relacionadas con temas como la robótica, programación, aprendizaje-máquina, entre otros, **con una formación matemática sólida** en la escuela.

Está comprobado en España y otros países, véase el capítulo sobre el impacto socioeconómico de la matemática en España, el requisito de una fuerte componente matemática para avanzar en las nuevas áreas del conocimiento y en el desarrollo económico de nuestro país. En esta dirección se ha elaborado un documento conjunto de recomendaciones entre la RSME y la Sociedad Científica Informática de España.

- 8) En el sentido anterior, parece muy adecuado, comprometerse en la apuesta por modelos educativos basados en una formación matemática que fomente el razonamiento, la argumentación y el desarrollo de la matemática tradicional centrada en la **resolución de problemas** pero, al tiempo, incorporando las conexiones dentro de las matemáticas y con otras disciplinas.

Gran parte de la motivación en la enseñanza de las matemáticas puede surgir como respuesta a problemas que se plantean asociados a

situaciones cotidianas o a otras ciencias como la economía, la tecnología y la ingeniería.

9) Hay **nuevos modelos educativos en matemáticas** que están dando excelentes resultados en otros países. Deberíamos hacer un esfuerzo por incorporarlos, con los ajustes pertinentes, al ámbito español. Esta introducción debería ser supervisada por sociedades de profesorado de secundaria, SEIEM y la RSME, entre otros interlocutores.

10) **Programas tipo ESTALMAT** (estímulo del talento precoz en matemáticas) y las **Olimpiadas Matemáticas** deberían ser financiados establemente y ampliados.

Debemos atender de forma especial al alumnado con talento en matemáticas y darles oportunidades dentro de los propios centros para que puedan desarrollar plenamente sus capacidades. Además, se debe hacer un esfuerzo para incentivar el interés de las estudiantes por estas actividades y un mayor reconocimiento de la labor del profesorado involucrado en estas tareas.

11) Hay que proporcionar más recursos económicos y humanos para una enseñanza de calidad de Matemáticas en primaria y secundaria, aumentando, por ejemplo, los **desdobles** en las aulas para disminuir el número de alumnado por clase, principalmente en Bachillerato, pero también en los cursos de la ESO.

12) El acceso de **profesorado con una buena formación matemática a los niveles no universitarios** debería ser una exigencia ineludible. La situación es muy preocupante en la enseñanza pública, pero los estándares son aún más bajos en la enseñanza concertada y privada. La formación matemática debe impartirse únicamente por profesionales con una buena capacitación dado que, en otro caso, el daño al alumnado será irreparable.

En el ámbito de la educación matemática, y a partir del trabajo desinteresado de gran cantidad de docentes, se desarrollan muchas actividades como proyectos de innovación, labores de divulgación u organización de olimpiadas y concursos de resolución de problemas (concursos de primavera, pruebas canguro...). Esta labor forma parte del desarrollo profesional docente y debe ser reconocida y acreditada formalmente.

- 13) Diseño de un plan para fomentar que el alumnado de los grados de Matemáticas perciba la **docencia en secundaria como una profesión atractiva y de gran valor social**.

Se debe facilitar al alumnado de los grados el contacto con profesorado de secundaria que colabore en la universidad, con asignaturas de educación matemática, con investigadores en educación matemática... Si solo se incentiva al alumnado para que se dediquen a empresa o a la universidad, asistiremos a la devaluación del profesorado de secundaria y, en consecuencia, la formación matemática de todos los estudiantes y de la sociedad, en general.

- 14) Necesidad de establecer **estrategias para conseguir mejoras en el conocimiento matemático inicial de los maestros y maestras de educación primaria**. En el caso del **profesorado de primaria** debería ser un requisito mínimo el haber cursado Matemáticas en el Bachillerato para acceder al Grado de Maestro/a en Educación Primaria. Para suplir la falta de especialidad de matemáticas o científica en la educación primaria se plantea la figura del **docente con formación reforzada** en matemáticas, para coordinar y ayudar al resto de docentes en el área de matemáticas.

- 15) En el caso del **profesorado de secundaria**, los titulados y las tituladas en Matemáticas **deben tener prioridad** en el acceso a la especialidad de matemáticas del máster de formación del profesorado. El estudiantado que no cumpla ese requisito deberían superar un examen de acceso que garantice un nivel adecuado de matemáticas.

- 16) Para entrar en una **lista de profesorado interino para puestos docentes de la asignatura de Matemáticas** se debería haber cursado un número mínimo de créditos en matemáticas (en torno a 60 créditos). En otro caso, deberían realizar un curso formativo riguroso en matemáticas. En la red concertada y privada debe exigirse que todos los centros cuenten con profesorado formado en matemáticas.

La especialidad cursada en el máster de secundaria debe ser vinculante respecto a las asignaturas que se pueden impartir en el centro. No tiene sentido que haya un máster organizado por especialidades y las matemáticas las imparta una persona formada en otra especialidad.

17) Crear **figuras mixtas** entre la educación primaria, secundaria, universidad y el ámbito de la investigación como existe en el caso de ciencias de la salud. El área de educación debe contar en las facultades con profesorado que combinen la experiencia y la visión del día a día del aula con los avances y novedades de la investigación en educación matemática.

Estas figuras mixtas podrían también ser para profesorado ejerciendo en la educación secundaria y en los primeros cursos universitarios simultáneamente. De este modo se podría, por un lado, favorecer la transición de estas dos etapas para el alumnado y, además, dar respuesta a momentos en que no habiendo suficientes salidas en el ámbito universitario, sí que las hubiese en el mundo de la docencia en secundaria. Otra posibilidad es fomentar líneas de investigación que incidan en la mejora y capacidad docente de las matemáticas en secundaria, aunque no deriven obligatoriamente en un doctorado.

### Estudios de matemáticas en el marco universitario

18) Se deben **rediseñar los planes de estudios universitarios** haciéndolos suficientemente flexibles para posibilitar formaciones diferentes: investigadora, docente, adaptada a la innovación... En particular, todo el alumnado de matemáticas debe adquirir un **conocimiento práctico de, al menos, un lenguaje de programación**. No debemos olvidar que el objetivo fundamental del Grado en Matemáticas es proporcionar al estudiantado una formación general, rigurosa y sólida en matemáticas. Esto permitirá que parte del alumnado esté preparado para aplicar las destrezas adquiridas a distintos ámbitos, especialmente, en la resolución de problemas adaptada a sus nuevas aplicaciones a la industria, gestión y consultoría en el contexto de la empresa y la administración.

19) Los **grados en Matemáticas deberían tener suficiente flexibilidad** para aumentar el número de alumnado, especialmente, en circunstancias, como la actual, donde hay una gran demanda laboral. El número de alumnos y alumnas egresadas en los grados en Matemáticas es claramente insuficiente para las oportunidades que se ofertan en diversos ámbitos.

20) Del análisis de las salidas profesionales se deduce que los campos que emplean más personas con formación matemática evolucionan de una

manera dinámica y en breves periodos temporales. Además, se valora mucho la formación en las destrezas básicas de razonamiento y análisis. Es conveniente **contar con grados en Matemáticas que se centren en los aspectos fundamentales de la disciplina, combinándolos con másteres más especializados** que puedan adaptarse rápidamente a las nuevas necesidades de formación.

- 21) La ANECA y las agencias con competencias en verificación y acreditación de programas conducentes a títulos universitarios deberían ser, en el futuro, muy estrictas en los procesos conducentes a la evaluación de los programas de Grado en Matemáticas o similares. Se debe evitar la intromisión de propuestas sin base académica sólida que pretendan aprovechar económicamente la coyuntura actual y la creciente popularización de los grados y estudios de máster en matemáticas y temáticas relacionadas.
- 22) Se deben concebir **másteres interuniversitarios** organizados en red, descentralizados y preparados para competir en el mercado internacional. Se fomentará la especialización temática para evitar repeticiones. La Conferencia de Decanos de Matemáticas (CDM), la RSME y otras sociedades matemáticas deberían promover encuentros para buscar sinergias entre universidades y grupos de investigación y eliminar las trabas burocráticas.
- 23) El **acceso del profesorado** a las universidades debe seguir modelos internacionales y simplificar el modo de solicitar los distintos puestos. Se deberían buscar vías para evitar o sortear la excesiva burocratización a la hora de solicitar una plaza que excluye en el inicio del proceso a excelentes candidaturas. Ejemplos a explorar serían habilitar figuras de profesorado visitante temporales únicamente durante el periodo en el que el candidato o candidata pueda cumplir los criterios de ANECA u otras medidas similares, como ya se están implementando en algunas universidades o con el programa Beatriz Galindo, entre otros.  
  
Una propuesta sería que las personas candidatas enviaran su CV (modo libre), una memoria y, en su caso, cartas de recomendación. A la persona seleccionada (y solamente a esta), con posterioridad, se le solicitaría toda la tediosa documentación habitual (copias, compulsas, etc.). Eso facilitaría la presentación de un mayor número de candidaturas a

las plazas y mejoraría también la internacionalización. Ayudaría que los y las candidatas pudiesen utilizar un modelo de aplicación única y disponible en inglés (para favorecer su difusión internacional) como el modelo americano con MathJobs o similares. Muchas convocatorias de plazas requieren la presentación de una extensa documentación, la programación de varias asignaturas, con tribunales elegidos por el departamento... Esto en la práctica hace que haya una única candidatura. Sería idóneo simplificar la documentación a entregar, y así poder elegir entre más personas candidatas y dar un periodo de prueba para conocer si la elección ha sido idónea.

- 24) Los centros deberían disponer de **procesos de promoción interna** rigurosos, y adoptar modelos de contratación y estabilidad laboral del tipo “**tenure track**” de las universidades norteamericanas como ya se han explorado en algunas universidades españolas.
- 25) Se debería fomentar que los departamentos, centros o universidades **compitan por las mejores candidaturas**. Los criterios para evaluar deberían contemplar resultados científicos, publicaciones y/o docencia de excelencia, premios, contratos en centros de referencia, capacidad de formación y liderazgo de grupos, éxito en convocatorias internacionales, transferencia a otros sectores. Esto permitiría combatir la endogamia que tanto daño ha hecho al sistema actual de educación superior en nuestro país.
- 26) Para tener acceso a recursos adicionales, los departamentos y centros deberían redactar un **plan estratégico** y someterse a una evaluación por paneles internacionales, preferentemente.
- 27) Sería idóneo que profesionales, sin una vinculación directamente al ámbito académico y que estén utilizando de manera intensiva matemáticas en ámbitos emergentes del sector empresarial, impartieran ciertos cursos en la universidad.

Dada la necesidad de incorporar en grados y másteres nuevos contenidos matemáticos relacionados con ciencia de datos, aprendizaje automático, matemáticas en robótica, computación cuántica, entre otros, se debería proceder a una **renovación sustancial de los planes de estudio** con el fin de promover una dinámica innovadora en las ofertas de aprendizaje del alumnado.

- 28) Necesidad de promover la **internacionalización de nuestros centros**.  
La atracción de estudiantado extranjero tanto para estudios de grado como de máster y doctorado en los centros que imparten titulaciones de matemáticas debe ser un objetivo estratégico. Debería potenciarse la impartición de cursos en inglés, lo que facilitaría la contratación de profesorado extranjero.
- 29) El número de personal **investigador y docente extranjeros** en el sistema español es claramente inferior al de los países de referencia de nuestro entorno. Se debe evitar una oferta de plazas excesivamente burocratizada, compleja y tediosa, en la que no se penalicen algunos comportamientos endogámicos.
- 30) La **información** sobre eventos, plazas ofertadas y otra información de interés frecuentemente es difícil de encontrar de manera sistemática. La RSME debería procurar tener un tablón de anuncios en su web en español e inglés con las diferentes plazas ofertadas.

### **Investigación en matemáticas**

- 31) La base de la investigación matemática está en las **nuevas generaciones**.  
El número de **puestos predoctorales y posdoctorales** convocados por universidades y ministerios competentes es escaso en términos del potencial matemático investigador.  
En este sentido, es necesario incrementar, de modo inmediato, un 4% el número de contratos Ramón y Cajal y Juan de la Cierva destinados al área de matemáticas (proporcional al peso de la comunidad matemática en el país). En estos momentos, hay grandes oportunidades para atraer talento matemático de primer nivel tanto en España (obsérvese, por ejemplo, la lista de las últimas personas galardonadas con los premios Rubio de Francia, Vicent Caselles, Antonio Valle, entre otros posibles candidatos) como en otros países.  
Proponemos que no se utilicen únicamente criterios meramente cuantitativos en la asignación del número de contratos por áreas e introducir correcciones cualitativas. En este sentido, sería conveniente introducir medidas de calidad científica y éxito de los contratados anteriores para asignar el número de contratos por áreas.

- 32) Aquellos matemáticos y matemáticas cuyos proyectos hayan sido **evaluados con éxito por comités de especialistas en Europa** (ERC *grants*, premios internacionales de altísimo nivel...) deberían tener un tratamiento diferenciado en el acceso a plazas y promociones.

A modo de ejemplo, acceso preferente a una plaza permanente de alto nivel en los OPIs, acreditación automática de Profesor/a Titular o Catedrático/a en la ANECA, siendo posteriormente evaluada la capacidad docente en las universidades en un proceso selectivo interno.

- 33) Los grandes retos de la ciencia y la tecnología requieren la actuación de **equipos multidisciplinares**. Se debe lograr que las matemáticas jueguen un papel destacado en esos equipos. Desde la RSME se promoverán encuentros conjuntos con otras sociedades científicas en las nuevas áreas emergentes.

- 34) Tanto a nivel estatal como autonómico se deberían ofrecer puestos de investigación, basados únicamente en **criterios de excelencia y liderazgo**, similares a los ofrecidos por ICREA e IKERBASQUE.

- 35) **La transferencia matemática** debe tener un prestigio equivalente a la investigación básica.

La acción, tanto pública como privada, en I+D+i asociada a las matemáticas debe incorporar incentivos adicionales para que los avances en matemática aplicada se trasladen eficazmente al tejido productivo. Hasta ahora no se ha conseguido de manera generalizada y este paradigma debe cambiarse valorando la transferencia matemática de alto nivel. Desde la RSME, en coordinación con otras instituciones como la Red Estratégica de Matemáticas (REM) y la Red Española de Matemática-Industria (math-in), se deben difundir modelos de éxito y promover actividades con el mundo empresarial y personal investigador en matemáticas interesado. Así mismo, se deben realizar jornadas en instituciones, como las que tienen lugar en la Fundación Ramón Areces, concienciando, sobre todo a las nuevas generaciones, del papel crucial que juegan las matemáticas en el desarrollo económico.

- 36) La **calidad de la tesis en matemáticas** en España tiene, en general, un nivel equiparable internacionalmente. Es muy frecuente que las tesis

estén avaladas por publicaciones en revistas internacionales. Aun así y para incluso mejorar la situación, las universidades deberían fijar criterios comunes como **filtros de calidad** (sobre la dirección de tesis doctorales, tribunales con contraste internacional claro, informes independientes, etc.) y publicitar en su web la situación y méritos del alumnado que haya obtenido el doctorado en su centro.

La RSME, junto a la CDM, debe ayudar a homogeneizar criterios, sin que ello implique una mayor burocratización del sistema, entre los distintos programas de doctorado en España.

37) Se debe unificar, en lo posible, y fijar las fechas de **convocatorias predoctorales estatales y autonómicas** y simplificar el modo de solicitarlas. Para competir, por talento internacional, es necesario mejorar el salario recibido en las distintas modalidades de contratos; comparemos, por ejemplo, el salario ofrecido por las becas INPhINIT de “la Caixa” (en torno a los 34.800 euros anuales brutos) en comparación con el contrato predoctoral estatal, con un salario medio anual exactamente la mitad que el ofrecido por “la Caixa”.

38) La organización de la investigación y transferencia matemática en torno a **institutos de investigación** debe ser potenciada.

Recientemente la matemática española se ha organizado en institutos de investigación de diferente estructura, tamaño y objetivos. Esta figura está dando resultados muy positivos para organizar la investigación localmente y mejorar su impacto internacional. Además, se debería dotar a estos institutos de personal especializado de apoyo a la gestión, para incentivar y facilitar al personal investigador la elaboración de propuestas en programas nacionales e internacionales, en acciones de transferencia de la investigación y mitigar la excesiva burocracia del sistema científico español. Desde la RSME y REDIMUM se debe apoyar a los diferentes institutos universitarios para su consolidación y la mejora de su eficacia.

39) En el CSIC solamente hay un instituto de matemáticas, el ICMAT, que es además un ejemplo de éxito. Esta singularidad supone una clara anomalía con respecto a otras áreas científicas, así como de países de nuestro entorno. Se debería proponer al ministerio competente y al CSIC un plan a medio y largo plazo para subsanar esta situación.

40) Se debe facilitar la **movilidad entre el profesorado universitario y el personal de centros de investigación.**

Opciones ágiles y flexibles de intercambio temporal de personal investigador y profesorado, que así lo deseen, podrían ser de utilidad mediante convenios específicos.

41) La publicación de **monografías de investigación** debería tener un mayor valor de cara a la promoción y evaluación investigadora.

42) Se deben adoptar medidas para **detectar el talento matemático** en diferentes niveles educativos y evitar su pérdida; por ejemplo, alumnado de grado con cualidades excepcionales, alumnado doctoral y posdoctoral de excelencia. Se debería dar apoyo administrativo y asesoría científica para que presenten propuestas a convocatorias europeas o premios internacionales.

#### **Políticas de género y matemáticas**

43) La RSME promoverá actuaciones para que los centros de enseñanza primaria y secundaria lleven a cabo labores que visibilicen el papel de la mujer en las matemáticas y en la ciencia en general. En particular, se propondrá un sistema de sellos o distinciones de calidad destinado a aquellos centros de enseñanza que lleven a cabo una reconocida labor de **“hacer matemáticas en femenino”**.

44) El **porcentaje de mujeres** como conferenciantes plenarias en los diversos congresos y eventos científicos celebrados en nuestro país debería ser al menos el 30%. En los congresos de la RSME se debe converger al 50%, tanto en las conferencias plenarias como en los comités organizadores y científicos.

45) **Reducción de docencia** al profesorado universitario tras permisos por maternidad y paternidad, para facilitar que vuelvan a incorporarse a la investigación.

46) **Fomentar la participación de mujeres matemáticas** en las diferentes convocatorias de plazas de personal, para así mejorar su índice de éxito, dado que, actualmente, el porcentaje es claramente insuficiente en universidad, investigación y salidas profesionales.

- 47) **Fomentar el acceso en puestos de profesorado e investigación para científicas destacadas.**

Para **incrementar el número de científicas en diferentes niveles de la universidad** y otras instituciones, se podría solicitar que los institutos o departamentos detectasen potenciales candidatas externas a la universidad o centro de investigación para diferentes puestos (catedrática, profesora de investigación, profesora titular, investigadora, etc.). En función de la calidad, temática y excelencia de estas, evaluada por paneles independientes de personas expertas, se les pudiese ofertar puestos docentes o de investigación en los centros. Esto facilitaría la incorporación de científicas de gran calidad en todas las categorías académicas.

- 48) Proponer un plan nacional de movilidad que permita a las mujeres de países en desarrollo realizar **estancias de investigación** en nuestro país. El programa “Mujeres por África” es la muestra de una buena práctica. La RSME y REDIUM deberían promover la puesta en marcha de un programa de este tipo buscando patrocinadores.
- 49) Debemos **transmitir a la sociedad y a las estudiantes que no hay ningún motivo para que las mujeres no accedan a puestos de relevancia en ningún ámbito**. En ese sentido, hay que visualizar a las matemáticas que ocupan cargos de máxima responsabilidad en el mundo empresarial. Desde este punto de vista el programa de *mentoring* MatEsElla de la RSME debe ser potenciado y adaptado para cumplir este objetivo.

### **Divulgación y cultura matemática**

- 50) La divulgación matemática es esencial para concienciar a la sociedad sobre la importancia de las matemáticas en la vida cotidiana. Se debe valorar la trayectoria de las personas que **hacen una divulgación destacada** mediante un reconocimiento profesional y económico.
- 51) Se debe concentrar, sumar y aunar esfuerzos en **divulgación**. Estructuras sólidas como Divulgamat de la RSME, la recién creada red DiMa, los museos de matemáticas, las exposiciones como Imaginary, entre otras, deben ser potenciadas y se deben promover nuevos formatos.
- 52) Las matemáticas pueden y deben jugar un papel destacado en la **cultura ciudadana**. Se debe superar la separación entre las dos culturas

(humanística y científica) y la comunidad matemática debe estar presente en los foros culturales más importantes. Iniciativas en esa dirección son los acuerdos de la RSME con el Instituto Cervantes, Fundación Thyssen - Bornemisza o la Real Academia Española, que deberían ampliarse a otras instituciones tanto públicas como privadas.

### **Internacionalización**

- 53) Adoptar medidas para incrementar la **presencia matemática española en puestos de decisión internacional**.

Los cargos ocupados en sociedades internacionales como IMU, EMS o ICIAM no reflejan el potencial matemático español. Algo similar ocurre en los diferentes paneles de evaluación europea. Se debe promover una mayor coordinación entre las sociedades matemáticas españolas y, en este sentido, el CEMAT debe jugar un papel destacado.

- 54) En la actualidad se están editando en España **revistas matemáticas** de alto nivel. Se debería conseguir un apoyo económico y administrativo para su gestión en las universidades o centros en las que estén radicadas.

- 55) El **número de editoras y editores españoles** en revistas de alto nivel en matemáticas es mejorable. Hay que desarrollar acciones que palien esta situación, la cual redundaría en el prestigio internacional de la matemática española. Se podría reconocer académicamente o mediante su valoración en los sexenios de investigación, entre otras posibles medidas.

- 56) Proponer la constitución de un **comité de personas expertas** en organización de **grandes eventos matemáticos** que recoja las experiencias pasadas (ICM, ECM, ICIAM, CIBEM, Olimpiada Internacional...) para impulsar y ayudar en la organización de nuevos eventos.

Este comité, a propuesta del CEMAT, estaría formado por personas que han sido miembros de los comités de organización de dichos eventos.

### **Premios y reconocimientos**

- 57) Es necesaria y urgente la revisión de la actual estructura del **Premio Nacional de Investigación Rey Pastor**. El Premio Nacional de

Matemáticas debe concederse anual o, como mucho, bienalmente y con carácter específicamente matemático.

- 58) La promoción de **reconocimientos específicos** para los matemáticos y matemáticas entre **35 y 50 años** es una tarea prioritaria dado su escaso número en comparación con países de nuestro entorno.
- 59) Debe realizarse el papel de las mujeres matemáticas **incrementando** sustancialmente **la proporción de candidatas a premios**, lo que redundaría, sin duda, en el número de premiadas. Se explorará la opción de crear premios específicos para mujeres matemáticas.
- 60) Las sociedades matemáticas, y en particular la RSME, deberían desempeñar un papel importante en la presentación de candidaturas españolas a **premios internacionales** y en la preparación sólida y unificada de las mismas.

Junto a la publicidad de dichas convocatorias y el estímulo a la presentación de candidaturas competitivas, la RSME debe promover la coordinación de las acciones con otras sociedades matemáticas, científicas u otras instituciones, cuando sea conveniente.

### Salidas profesionales de las matemáticas

- 61) El impulso del **patrocinio** y **mecenazgo** como apoyo de la ciencia y tecnología en nuestro país, y en concreto de las matemáticas, es un compromiso ineludible de las diferentes instituciones para revertir a la sociedad una parte de los beneficios empresariales.

La RSME, junto con otras sociedades y redes, apoyándose en informes como el del impacto económico de las matemáticas de la REM, deben ayudar a implicar a las empresas en el mecenazgo de las matemáticas.

- 62) La RSME, en colaboración con la CDM, debe promover que en las universidades se presenten a sus estudiantes **ejemplos recientes de *start-ups* españolas** con una notable componente matemática y que desarrollan con éxito productos y procesos de interés. Estas iniciativas, además de las posibilidades de realización personal que pueden abrir para algunas personas tituladas, incluidas las que cuentan con doctorados, son una muestra de que, efectivamente, las matemáticas permean la sociedad del siglo XXI.

- 63) Se debe llevar a cabo un **seguimiento anual de las personas egresadas** y un estudio de la evolución de los nichos de empleabilidad, con la finalidad de reforzar la formación (principalmente, en los másteres) en dichos ámbitos.

### **Código ético y buenas prácticas**

- 64) Finalmente, y como proyecto de futuro para impulsar la puesta en marcha de algunas de estas propuestas, la RSME redactará una **guía de buenas prácticas, incluyéndola en un Código ético de nuestra Sociedad**, tanto en materia de contratación de recursos humanos, conciliación, políticas de género activas, etc.

## AGRADECIMIENTOS

Este *Libro Blanco de las Matemáticas* en España es fruto del esfuerzo de un gran número de personas y colectivos, y ha requerido la colaboración generosa de numerosos organismos e instituciones. Aún a riesgo de caer, involuntariamente, en algún olvido, queremos detallar nuestro agradecimiento a todos ellos.

En primer lugar, a los equipos que han participado en la elaboración de los capítulos. Junto a ellos, ha sido fundamental el trabajo de los miembros de la Junta de Gobierno y de las comisiones de la RSME, y la colaboración de muchos miembros de la sociedad a quienes hemos solicitado opinión en las diversas fases del trabajo. Entre ellos, están los delegados de la RSME, que han sido fundamentales en la búsqueda de datos de sus centros.

A la Agencia Estatal de Investigación y al Ministerio de Ciencia e Innovación donde siempre hemos encontrado apoyo, desde el equipo anterior de Carmen Vela y Marina Villegas al equipo actual de Enrique Playán. Queremos reseñar especialmente el inestimable soporte recibido de Bárbara Alcocer, Raúl Fernández, Estefanía Freitas, Victoria Ley, José Luis Pérez Salinas y María Jesús Rojo, entre otros.

Al Ministerio de Educación, del que destacamos la ayuda proporcionada por Raúl Calderón Checa y José Antonio López Álvarez.

A la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología que, a través del convenio conjunto con la RSME ha proporcionado datos imprescindibles. En especial queremos agradecer el apoyo recibido del equipo de Victoria Millor en la FECYT.

A la Conferencia de Decanos de Matemáticas, por su permanente colaboración, especialmente estimable en los capítulos de salidas profesionales de las matemáticas y de los estudios de matemáticas en el ámbito universitario.

A los directores y gestores de los centros de investigación, departamentos, universidades e instituciones mencionadas en el Libro. En especial, a los Vicerrectores de investigación y transferencia de las universidades españolas con especial mención al Rector de la Universitat de Barcelona, Joan Elias. Al CSIC

y, en especial a Elena López, por ayudarnos a preparar las reuniones de cada grupo de trabajo.

A la Red Estratégica de Matemáticas (REM) que, desde el primer minuto, ha brindado su apoyo a esta obra colectiva. Muy especialmente, tenemos que agradecer su ayuda en los capítulos sobre Investigación e Impacto económico de las matemáticas.

A la Fundación La Caixa, en particular, a Emilia Jordi y Ainhoa Martín.

Hay muchas personas más que han colaborado altruísticamente en la elaboración de esta obra. Quisiéramos destacar a Olga Baranova, Miguel Ángel Benítez, Adriana Castro, Lorea Gómez, Silvia Recacha y Consol Roca. A Laura Moreno por su cuidada revisión de estilo y a Elba Mauleón por el trabajo técnico realizado en algunos capítulos.

Finalmente, nuestro mayor agradecimiento tiene como destinatario nuestro patrocinador, la Fundación Ramón Areces. Su apoyo y estímulo durante estos años han permitido la realización del apasionante proyecto colectivo que constituye el *Libro Blanco de las Matemáticas* en España.

## GLOSARIO DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

- AMM2000 Año Mundial de las Matemáticas 2000
- AMS American mathematical Society
- ANECA Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación
- ASEPUMA Asociación Nacional de Profesores Universitarios de Matemáticas para la Economía y la Empresa
- BCAM Basque Center for Applied Mathematics
- BGSMath Barcelona Graduate School of Mathematics
- CDM Conferencia de Decanos de Matemáticas
- CEMAT Comité Español de Matemáticas
- CIBEM Congreso Iberoamericano de Educación Matemática
- CIMPA Centro Internacional de Matemáticas Puras y Aplicadas
- CMF Conocimiento Matemático Fundamental
- CRM Centre de Recerca Matemàtica
- DiMa Red de Divulgación Matemática
- divulgaMAT Centro virtual de divulgación de las matemáticas de la RSME
- EBAU Evaluación del Bachillerato para el Acceso a la Universidad
- ECM Congreso Europeo de Matemáticas
- ECMI European Consortium for Mathematics in Industry
- ECTS European Credit Transfer and Accumulation System
- EJE&CON Asociación Española de Ejecutiv@s y Consejer@s
- EMS Sociedad Matemática Europea
- EUCT Estadística de Universidades, Centros y Titulaciones
- ERC European Research Council
- ERCOM European Research Centers of Mathematics
- ERME European Society for Research in Mathematics Education
- ESF Fundación Europea de la Ciencia
- ESO Educación Secundaria Obligatoria

ESTALMAT Estímulo del Talento Precoz en Matemáticas  
FPI Formación del Personal Investigador  
FPU Formación del Profesorado Universitario  
FECYT Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología  
FESPM Federación Española de Sociedades de Profesores de Matemáticas  
FISEM Federación Iberoamericana de Sociedades de Educación Matemática  
ICIAM International Council for Industrial and Applied Mathematics  
ICM Congreso Internacional de Matemáticos  
ICMAT Instituto de Ciencias Matemáticas  
ICME International Congress on Mathematical Education  
ICMI International Commission for Mathematical Instruction  
ICREA Institució Catalana de Recerca i Estudis Avançats  
IEA International Association for the Evaluation of Educational Achievement  
IKERBASQUE Fundación Vasca para la Ciencia  
IMU Unión Matemática Internacional  
IMUS Instituto de Matemáticas Universidad de Sevilla  
INEE Instituto Nacional de Evaluación Educativa  
ISI International Statistical Institute  
ITMATI Instituto Tecnológico de Matemática Industrial  
JAEM Jornadas para el Aprendizaje y la Enseñanza de las Matemáticas  
Math-in Red Española de Matemática-Industria  
MMACA Museo de Matemáticas de Catalunya  
MUFP Máster Universitario para la Formación del Profesorado de ESO y Bachillerato  
NCTM National Council of Teachers of Mathematics  
OCDE Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos  
OPI Organismo Público de Investigación  
PAU Prueba de acceso a la Universidad  
PISA Programme for International Student Assessment  
ReDIUM Red de Institutos Universitarios de Matemáticas  
REM Red Estratégica de Matemáticas

RSME Real Sociedad Matemática Española  
RUCT Registro de Universidades, Centros y Títulos  
SCM Sociedad Catalana de Matemáticas  
SEIE Sistema Estatal de Indicadores de la Educación  
SEIEM Sociedad Española de Investigación en Educación Matemática  
SEIO Sociedad Española de Estadística e Investigación Operativa  
SEMA Sociedad Española de Matemática Aplicada  
SMPM Sociedad Madrileña de Profesores de Matemáticas “Emma Castelnuovo”  
SOMMA Alianza de Centros Severo Ochoa y María de Maeztu  
STEAM Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics  
TAC Tecnologías del Aprendizaje y el Conocimiento  
TEDS-M Estudio Internacional sobre la Formación Inicial en matemáticas de los maestros  
TFM Trabajo de fin de máster  
TFG Trabajo de fin de grado  
TIC Tecnologías de la Información y la Comunicación  
TIMSS Trends in International Mathematics and Science Study  
WSC World Statistics Congress

**David Martín de Diego**

[coord. general]

**Tomás Chacón Rebollo**

**Guillermo Curbera Costello**

**Francisco Marcellán Español**

**Mercedes Siles Molina**

[coords.]

El objetivo de este Libro Blanco es presentar una serie de documentos que puedan servir de referencia tanto para las diferentes instituciones relacionadas con la política educativa, profesional o científica, como para la propia comunidad matemática.

El trabajo está organizado en ocho líneas de análisis interconectadas: enseñanza de las matemáticas (tanto en el ámbito no universitario como en el universitario), salidas profesionales, investigación, impacto económico de las matemáticas en nuestro sistema productivo, divulgación, problemáticas de género, internacionalización y premios y reconocimientos científicos.

Los textos sirven para abrir un foro de debate, con elementos razonados, coherentes y rigurosos, sobre las diferentes decisiones y medidas a adoptar en el futuro. Con este objeto, al final del libro, se pueden encontrar una serie de propuestas de acción, concebidas como elementos útiles para avivar una discusión que consideramos crucial para el futuro de las matemáticas y de la ciencia en nuestro país.



FUNDACIÓN  
RAMÓN ARECES



**Real Sociedad**  
Matemática Española