

EDITORIAL

Allí donde prevalece la actitud competitiva, solo pueden enseñarse las matemáticas muertas: las vivas deben ser siempre una posesión común. **Mary Everest Boole**

Todos los días del año son el día de las mujeres en la ciencia

El 15 de diciembre de 2015, la Asamblea General de las Naciones Unidas aprobó una resolución en la que se decidía proclamar el 11 de febrero de cada año el *Día Internacional de la Mujer y la Niña en la Ciencia*. La resolución venía acompañada de una invitación a todo tipo de colectivos, públicos y privados, a celebrar este día mediante actividades variadas de educación y sensibilización. En 2016 se realizaron algunas iniciativas y, en 2017, la respuesta ha sido extraordinaria, tanto a nivel institucional como privado.

La celebración de este día es, en mi opinión, una buena y una mala noticia a la vez. Es algo positivo porque muestra una 'cierta' preocupación por las desigualdades que aún persisten hoy en día en el mundo de la ciencia, y anima a la sociedad a ser consciente del problema, a reflexionar y a presionar a nuestros dirigentes para solucionar el problema. La 'corrección política' ha obligado a muchas instituciones a sumarse a la iniciativa; su capacidad organizativa y sus medios han contribuido a que el llamamiento haya sido global y eficaz. Aunque, bajo mi punto de vista, las iniciativas entusiastas, aunque humildes, son las que alcanzan los mejores resultados.

Es también, como comentaba, una mala noticia, porque tener un día especial para reivindicar muestra que, a pesar de lo que pudiera parecer con una mirada superflua, en pleno siglo XXI existe aún una gran brecha de género en ciencia.

No quiero ocupar estas líneas con estadísticas que confirmen las crecientes desigualdades que existen a medida que se avanza en los puestos de responsabilidad en ciencia. Esos datos son fácilmente recuperables para quien quiera consultarlos. Prefiero lanzar algunas ideas que permitan reflexionar sobre el tema; además, no son excesivamente diferentes en matemáticas y en otras ramas de la ciencia.

El problema de las mujeres en la ciencia, en particular en las matemáticas, se debe en gran medida a lo que les sucede a las niñas desde etapas tempranas, tanto en el ámbito educativo como en el familiar. Esa etapa de su vida tiene mucho que ver con las científicas que nunca han sido y con las que han conseguido llegar y deben enfrentarse a un panorama poco alentador, tanto en la parte puramente científica como en la de gestión de la ciencia. A las jóvenes se las incentiva muy poco, se las desanima sistemáticamente, muchas veces de manera no intencionada, a



Imagen: Julian Beaver

Marta Macho-Stadler es profesora de la Universidad del País Vasco (UPV/EHU).

CONTENIDOS

Editorial: Marta Macho (UPV-EHU).....	1
Entrevista: Consuelo Martínez (UniOvi).....	3
Reportaje: "Mujeres, matemáticas y valores".....	5
Perfil: Sonja Lea Heinze (ICMAT).....	7
She Does Maths: Amalia Pizarro (Universidad de Valparaíso, Chile).....	8
Cuestionario ICMAT: Pilar Bayer (UB).....	9
Entrevista: Simon Donaldson (Laboratorios ICMAT).....	11
Reseña científica: "Avances en el problema de moduli para el sistema de Strominger".....	13
Reseña científica: "Resuelto el problema de Berry para el oscilador armónico".....	14
Noticias ICMAT.....	15
Agenda.....	18

través de un paternalismo que las protege en exceso. Por ello, a la hora de decidir qué carreras quieren realizar, las matemáticas y las ciencias suelen quedar lejos. Entre esas niñas que no eligen las matemáticas porque no se sienten capaces, ¿alguna podría haber llegado a resolver la hipótesis de Riemann o la conjetura de Goldbach? Y entre las que eligen estudiar esta carrera, lo hacen de manera brillante y después abandonan, ¿alguna podría haber ganado una medalla Fields si se la hubiera apoyado convenientemente?

Como otras muchas instituciones, el ICMAT ha apostado por poner en marcha un 'plan de acción de género', con objetivos impecables, para conseguir una representación mayor de las mujeres en todos sus programas –investigación, divulgación y gestión– y para ayudar a aumentar las vocaciones entre las más jóvenes. Me alegré al saberlo. Si no me he equivocado al consultar los datos de la página web del ICMAT, de los 56 'investigadores de plantilla' solo 4 son mujeres (el 7,1% del total), de los 26 'investigadores postdoctorales' solo 6 son mujeres (el 23% del total), y de los 46 'investigadores predoctorales' solo 6 son mujeres (el 13% del total). Estos datos son contundentes, y aunque todas las personas que forman parte del Instituto lo son por sus méritos científicos –nadie lo pone en duda–, al menos estas cifras deberían llevar a la reflexión. ¿Por qué hay tan pocas mujeres?

Tener una comisión de mujeres en el ICMAT –en universidades o institutos de investigación– es tan necesario como tenerla en cualquier otro ámbito laboral. A veces olvidamos que las personas que hacemos ciencia no somos diferentes, estamos sometidas a los mismos estereotipos, complejos y creencias que nos hacen no ser justos en cualquier aspecto de nuestra actividad diaria. Es muy importante que las personas que lideran estas iniciativas se lo crean de verdad y tengan la fuerza suficiente para llevar a cabo los objetivos recopilados en sus bases. No es fácil recordar sistemáticamente a aquellos que deciden que no puede haber un congreso sin conferenciantes principales mu-

jes o que ninguna comisión de decisión puede prescindir de científicas que expongan sus opiniones.

Hoy en día, ninguna persona lo tiene fácil en el tema de la investigación. Las matemáticas son apasionantes, pero duras en sus inicios; la presión por conseguir resultados es considerable. Pero lo tienen aún más complicado las mujeres. Es difícil detectar los problemas para quien no los quiere ver, porque algunos son muy sutiles, imperceptibles para la mayoría.

La cita de Mary Everest Boole que abre este escrito se refiere a uno de los problemas que, en mi opinión, hace el quehacer científico menos apetecible para las mujeres: la competitividad mal entendida. Una alumna predoctoral de mi universidad comentaba hace unos días que, en muchas discusiones en la pizarra entre varias personas, ella terminaba por callarse porque su voz –que es muy suave– no conseguía oírse entre la de sus compañeros. No parece un problema terrible, pero sí lo es para ella, que no consigue participar en igualdad de condiciones. Este es solo un ejemplo de una situación que puede pasar desapercibida para la mayoría de las personas y contribuir al desánimo de las que los sufren.

Estereotipos, inseguridades o falta de autoestima juegan en contra de las mujeres en áreas como las matemáticas. La ciencia es el motor de nuestra sociedad, las mujeres tenemos derecho a participar en igualdad de condiciones, haciendo o decidiendo tendencias en investigación. Y la sociedad no puede seguir dejando de lado a personas con capacidades y creatividad sobradas para contribuir a su mejora.

Por eso, aunque sea importante que exista un *Día Internacional de la Mujer y la Niña en la Ciencia*, creo firmemente que *todos los días del año son el día de las mujeres en la ciencia*.

Marta Macho-Stadler

Profesora de la Universidad del País Vasco (UPV/EHU)



Imagen: ICMAT

Algunas de las mujeres que forman parte del ICMAT, el pasado 11 de febrero.

ENTREVISTA: Consuelo Martínez, catedrática de Álgebra en la Universidad de Oviedo

“Me duele que alguien considere que has conseguido algo por el mero hecho de ser mujer”

Imagen: Consuelo Martínez



Consuelo Martínez es experta en álgebras y superálgebras no asociativas.

Patricia Ruiz Guevara. Consuelo Martínez López (El Ferrol, 1955) se licenció en Matemáticas en la Universidad de Zaragoza en 1977, donde obtuvo el doctorado bajo la dirección de Javier Otal. Es Catedrática de Álgebra en la Universidad de Oviedo desde 2005 y realiza estancias de investigación en el KIAS (Korean Institute of Advanced Studies), donde investiga conjuntamente con el medalla Fields Efim Zelmanov, con quien colabora desde los años noventa. Su trabajo se centra en álgebras y superálgebras no asociativas, en sus interrelaciones con la teoría de grupos, y en sus aplicaciones a la criptografía y a la teoría de códigos correctores de errores, como los códigos grupos. Recientemente, ha impartido conferencias en CUNY (The City University of New York), en el Stevens Institute of Technology, EE. UU. y en el [INDAM Meeting of European Women in Mathematics 2015](#), donde fue invitada como conferenciante plenaria. En los últimos años, ha actuado como coordinadora del área de matemáticas en el Comité de Evaluación constituido en la Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación (ANECA) para las becas FPU (Formación de profesorado universitario) del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, y es miembro de la comisión de Física y Matemáticas de la Comisión Nacional Evaluadora de la Actividad Investigadora (CNEAI) y del Comité de Ciencias Experimentales de la Agencia Vasca (UNIBASQ).

P: Se licenció en Matemáticas en 1977 por la universidad de Zaragoza. ¿Cómo se tomó su familia que quisiera estudiar esta carrera?

R: Considero que fui una privilegiada en mi entorno familiar. Mi padre era maestro y le gustaban mucho las matemáticas, así que debe haber algo hereditario, y en mi casa no fue una sorpresa el que yo quisiera estudiarlas. Además, en aquella época la diferencia entre el número de alumnos y alumnas en Matemáticas no era excesivamente notable, para mí fue todo muy normal.

P: Sin embargo, en la investigación sí que suele haber una brecha evidente. ¿Cuál es el caso en su campo?

R: En general, en España hay bastantes mujeres en álgebra. En congresos internacionales se ha comentado en muchas ocasiones ese hecho: el número de mujeres participantes de España es más alto que el de otros países. Así que nunca he tenido una sensación de que fuera algo excepcional en mi entorno o en los congresos a los que asistía. No niego que haya discriminación por razón de género, porque es evidente que la hay; pero, en mi caso, a lo largo de mi carrera académica, yo jamás me he sentido discriminada ni he encontrado impedimentos por ser mujer.

P: ¿De qué manera cree que actúa esa discriminación?

R: Hay muchos factores que se entremezclan. Trabajar en investigación con una fuerte entrega es muy difícil de compatibilizar con la dedicación a la familia u otras obligaciones, si no se tiene un buen apoyo. Como mujer, aparecen otros condicionantes en el entorno que probablemente vengán marcados por la educación. Todo eso limita. Nuestros colegas masculinos, por tradición y educación, no se enfrentan en general a esos problemas.

P: Usted ha trabajado en diferentes países; por ejemplo, en los últimos años, ha realizado estancias de investigación en el KIAS (Korean Institute of Advanced Studies), en Corea del Sur. ¿Cómo es la situación para la mujer matemática allí?

R: En Corea del Sur es parecida a la de aquí. Creo que, en general, la situación de las investigadoras matemáticas es similar en todo el mundo. Por ejemplo, en Estados Unidos hay pocas mujeres investigadoras todavía en proporción con el número de hombres. Creo que tiene mucho que ver con la trayectoria histórica. Ellos llevan años yendo a la universidad y ejerciendo tareas de investigación, mientras que las mujeres no eran aceptadas. Por ejemplo, Emmy Noether no pudo ser profesora en la universidad porque no la dejaron. Nosotras hemos empezado la carrera mucho más tarde, con lo cual, nos va a llevar un tiempo conseguir ponernos a la par.

P: ¿Qué estrategias cree que pueden ser útiles para reducir esa desigualdad?

R: Creo que lo esencial es la educación: si consiguiéramos que en nuestra sociedad las madres y los padres inculcaran a los hijos que un hombre y una mujer son exactamente iguales a la hora de realizar un trabajo o una actividad intelectual, y que los miembros de una pareja deben apoyarse equitativamente, creo que se resolverían problemas importantes. En este punto, un papel fundamental corresponde a las propias mujeres, porque a veces somos las primeras que educamos en la desigualdad sin querer.

P: Usted, desde las aulas, ¿nota diferencias entre el comportamiento de chicos y chicas?

R: Pienso muchas veces que algo estamos haciendo mal, porque veo que muchas de nuestras alumnas reproducen patrones del

pasado. Cuando acaban, muchas chicas brillantes, candidatas naturales a tener una sólida carrera académica o investigadora, la dejan de lado debido a otras prioridades que no deberían ser incompatibles, como estar cerca del novio o formar una familia. Pero es cierto que no todo el mundo entiende que una investigadora debe viajar, realizar estancias, asistir a un congreso y trabajar varios meses con alguien. Es esencial que las personas que están a tu lado te apoyen.

P: Desde las instituciones se plantean planes de género para intentar eliminar esta brecha. ¿Qué opina de la discriminación positiva?

R: Tengo sentimientos encontrados, porque la palabra discriminación, ya por definición, me parece negativa. En principio, no me parece justo discriminar al otro, ni me parece positivo para las mujeres a medio y largo plazo. Por ejemplo, yo me siento feliz cuando una mujer, como [Maryam Mirzakhani](#) (Universidad de Stanford, EE. UU.), gana la medalla Fields, porque estoy convencida de que la merecía, ha hecho un trabajo maravilloso. Lo que me duele es que alguien considere que has conseguido algo por el mero hecho de ser mujer. Si una mujer está en una posición es porque es, al menos, igual de buena que sus compañeros, no por ser mujer. Pero, por otro lado, entiendo que son medidas que pueden hacer falta en un cierto momento, y me parece muy bien todo lo que pueda ayudar.

P: Investiga en álgebra abstracta, ¿hacia dónde se dirige su investigación?

R: Queremos aplicar nuestro conocimiento sobre estructuras algebraicas a la teoría de la información, en criptografía y códigos correctores de errores. Tradicionalmente se han utilizado métodos de teoría de números para diseñar los esquemas criptográficos que se usan en tarjetas y firmas electrónicas. Ahora la idea es diseñar esquemas de cifrado utilizando estructuras algebraicas que sean resistentes y puedan ser útiles en el futuro para, en caso necesario, complementar los sistemas actuales.

P: También trabaja desde hace años con el medallista Fields [Efim Zelmanov](#) (Universidad de California San Diego). ¿Cómo ha sido su colaboración a lo largo de estos años?

R: Es una maravilla trabajar con Zelmanov, es muy estimulante. Tienes que estar mentalmente muy despierta para poder seguir su línea de pensamiento. Después de tantos años trabajando juntos hemos llegado a un gran entendimiento que hace que muchas veces uno sepa lo que está pensando el otro. Juntos hemos obtenido resultados como la clasificación de superálgebras de Jordan simples finito dimensionales en característica prima; fue muy gratificante aplicar modelos que habían sido construidos en dimensión infinita y característica cero, y que fueran los puntos clave nuestra clasificación. Para un matemático es fascinante ver cómo se relacionan cosas aparentemente dispares, cómo todo cuadra y encaja al final. Ese tipo de resultados son los que me han producido más satisfacción.

P: Además del placer de dedicarse a la investigación, ¿qué le aporta la docencia?

R: La docencia nos ayuda a mantenernos vivos y a seguir mirando cosas desde ángulos distintos. En particular, me gusta mucho la docencia de tercer ciclo, porque es estimulante trabajar con alguien que se está iniciando en investigación, acompañarle y aprender cosas nuevas. Es importante que los alumnos empiecen a abrir caminos con tu ayuda, pero han de ser caminos nuevos, no solamente los que tú ya has desbrozado.

P: ¿Qué le diría a alguien que no entiende por qué es importante la investigación básica?

R: La mayoría de los que trabajamos en investigación básica lo hacemos, en primer lugar, por puro placer estético. Me imagino que el placer es similar al que experimenta un músico cuando compone una pieza que es, justamente, la que está buscando. Pero, más allá de eso, la investigación básica es vital para un país. Permite que el progreso continúe, y apoya y fundamenta la investigación aplicada, que puede tener un componente más inmediato. La investigación básica es la única forma de seguir abriendo puertas, que quizás después lleven a una aplicación. Por ejemplo, durante años se pensó que la teoría de números era inútil, y al final resultó ser esencial para el nacimiento de la criptografía de clave pública. Si se trabaja con visión de futuro, no se puede abandonar la investigación básica; sería de una miopía tremenda y tendría consecuencias funestas.

Imagen: Consuelo Martínez



Consuelo Martínez es experta en álgebras y superálgebras no asociativas.

REPORTAJE: Mujeres, matemáticas y valores

“Un estudio afirma que los valores familiares determinan el rendimiento en matemáticas de las chicas”

Imagen: ICMAT



La cultura es determinante en la diferencia entre géneros a la hora de enfrentarse a las matemáticas.

La tradicional creencia de que a las chicas se les dan peor las matemáticas todavía está muy extendida en nuestra sociedad; incluso, hay voces que siguen señalando este hecho como una verdad biológica. Sin embargo, no deja de ser un estereotipo más. Un reciente estudio pone fin a este falso debate: todo es una cuestión cultural y de discriminación. “The Math Gender Gap: The Role of Culture”, publicada en la revista *American Economic Review*, confirma que el interés de las mujeres por las matemáticas depende de los valores sobre igualdad de género que su entorno más cercano les transmita: cuanto menor índice de igualdad haya en la sociedad de la que provengan sus progenitores, más bajo será el rendimiento de las niñas en matemáticas.

Laura Moreno Iraola. El mundo de las matemáticas aún tiene un largo trayecto que recorrer para lograr una equidad entre sexos. Por el momento, [solo una mujer ha ganado la Medalla Fields](#) (la mayor distinción de las matemáticas) desde que en 1936 empezara a concederse. Fue la iraní [Maryam Mirzakhani](#), profesora en la Universidad de Stanford (EE. UU.), quien la consiguió en 2014. También [la iraní Sara Zahedi destacó el año pasado](#) por ser la [única mujer matemática premiada por la Sociedad Europea de Matemáticas \(EMS\) en el Congreso Europeo de Matemáticas \(ECM\)](#), celebrado el pasado mes de julio en Berlín. La propia comunidad científica es cada vez más consciente de esta situación, y se multiplican los esfuerzos para tratar de combatir el estereotipo que asocia a esta ciencia –y la mayor parte de ellas– con

el sexo masculino, algo implícito tradicionalmente en los valores de nuestra sociedad.

Parece que son precisamente la cultura y los ideales de cada familia los elementos determinantes en la diferencia entre géneros a la hora de enfrentarse a las matemáticas. Esto concluye una investigación titulada [“The Math Gender Gap: The Role of Culture”](#), publicada el año pasado en la *American Economic Review*. Lo firman tres economistas, dos de ellas españolas: Núria Rodríguez-Planas, del Departamento de Economía de City University of New York (CUNY); Almudena Sevilla, del School of Business and Management de Queen Mary, Universidad de Londres (QMUL); y la uruguaya Natalia Nollenberger, del IE Business School, IE University.

Para realizar este trabajo han considerado una muestra de 11.527 chicos y chicas de 15 años, nacidos y residentes en nueve países diferentes, pero cuyos padres emigraron desde 35 orígenes distintos. Para ello, han utilizado las calificaciones en matemáticas de los chicos y chicas extraídas de los informes [PISA \(Program for International Student Assessment\)](#) de los años 2003, 2006, 2009 y 2012, producidos por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). Para medir la igualdad de género en el país de origen de los padres, recurrieron al [índice de diferencias de género \(Gender Gap Index, GGI\) elaborado a partir del Foro Económico Mundial de 2009](#).

“Empezamos a investigar a partir de un [artículo publicado en Science](#)¹ en el que se muestra que, en la mayoría de países que participan en la pruebas del informe PISA de 2003, las niñas obtienen una puntuación menor que los niños en matemáticas, pero que hay unos pocos países donde ellas tienen mejores resultados”, explican las autoras. Ese artículo demuestra que, en las zonas donde hay mayor igualdad de género, las puntuaciones son similares. “Pero solo se observan correlaciones, no se determina en qué medida son las instituciones, el mercado de trabajo, la diferencia salarial entre hombres y mujeres, el sistema educativo, las leyes, etc., las que influyen en el acceso de las mujeres al mundo de las matemáticas, o si, por el contrario, son las creencias sobre los roles de género. Ahí es donde vimos que podíamos contribuir”, reflexionan.

Su investigación es la primera en la que se alude a los valores que el círculo más cercano aporta, y no a la sociedad, al sistema educativo o al mercado laboral. Aunque los niños se críen en las mismas condiciones del país que comparten, “están in-

fluenciados por las creencias (la cultura) del país de origen de sus padres, y la diferencia de género es menor para aquellos adolescentes cuyos padres y madres provienen de países donde hay más igualdad de género”, apuntan las investigadoras. “Encontramos que un incremento entre el GGI del país de origen de los padres está asociado con un aumento en los resultados de matemáticas en PISA de las chicas en relación con los chicos del mismo origen, equivalente a un mes y medio de escolarización”. Por ejemplo, “si chicas cuyos padres provienen de Turquía, donde, según nuestro indicador, hay poca igualdad de género (GGI=0.58), procediesen de países con más igualdad, la brecha de género que se observa entre chicos y chicas de descendencia turca, que es de 13.8 puntos, desaparecería”, explican.

Hasta tal punto es importante la influencia de la cultura en este aspecto que, según los resultados de este estudio, “esta, por sí misma, podría explicar casi dos tercios del efecto total de la igualdad de género de un país, que incluye tanto cultura como instituciones”, señalan las responsables del artículo. Por tanto, proponen que es precisamente en esta en la que hay que incidir para que la brecha diferencial desaparezca en todos los lugares. “Lo que nuestro artículo sugiere es que no basta con introducir cambios institucionales como, por ejemplo, un mayor acceso de las mujeres al mercado de trabajo o una mayor participación en la política, sino que es necesario también alterar nuestras creencias acerca del papel que desempeñan hombres y mujeres en la sociedad. Esto es importante, porque modificar las creencias es mucho más difícil y lleva mucho más tiempo”, concluyen.

Paper completo en este [enlace](#).

1 Luigi, Guiso; Monte, Ferdinando; Sapienza, Paola; Zingales, Luigi. “Culture, Gender, and Math”. 2008. *Science* 320: 1164–65.



Imagen: ICMAT

PERFIL: Sonja Lea Heinze

“En cada lugar del mundo hay una manera de pensar en matemáticas”

Imagen: Sonja Lea Heinze



Sonja Lea Heinze ha sido becada dentro del programa Severo Ochoa- “la Caixa”.

Sonja Lea Heinze

Sonja Lea Heinze nació en Essen (Alemania) en 1988. Cursó el grado de Matemáticas en la Universidad de Aachen, y como trabajo final realizó una caracterización geométrica de ciertos conjuntos, aquellos en los que el operador de la integral de Cauchy está acotado. Así empezó su interés en estudiar conexiones entre conceptos matemáticos de diferentes campos. Continuó sus estudios con un máster en matemáticas en la misma universidad, realizando el primer año en la Universidad de Nottingham, Reino Unido. En 2013 comenzó su doctorado en el ICMAT con el programa de Severo Ochoa La Caixa, bajo la dirección de Javier Fernández de Bobadilla (BCAM). Desde entonces estudia las singularidades algebraicas usando conceptos de otros campos, como la topología y la geometría.

Patricia Ruiz Guevara. Una característica que tienen en común los científicos es su pasión por resolver retos. La investigación en matemática abstracta es, sin duda, uno de los grandes, y a Sonja Lea Heinze le apasiona. Tenía claro que quería estudiar ciencias, y al final se decantó por la más pura de todas. Después de terminar el grado en Matemáticas en Aachen (Alemania), donde reposan los restos del emperador Carlomagno, esta matemática alemana “no tenía claro qué hacer, así que decidí cursar máster, me gustó el proyecto de investigación y quise continuar”, afirma.

“Me gusta resolver problemas abstractos, tener retos”, dice la investigadora, que desde 2013 trabaja en el ICMAT, en el campo de la geometría bi-Lipschitz, clasificando singularidades algebraicas. “Antes, se clasificaban las singularidades algebraicas con topología, y no con geometría, ya que durante mucho tiempo se pensó que la geometría y la topología de Lipschitz eran iguales. Pero hace unos quince años se encontraron ejemplos de superficies complejas en las que no lo son”, explica Heinze. “En dimensión compleja superior a uno, la geometría es más rica y puede diferenciar dos singularidades que la topología no puede”. Por eso, ahora la matemática está buscando invariantes de la geometría de bi-Lipschitz.

Su investigación es muy teórica, explica Heinze. “Lo que estudio no tiene ninguna aplicación ahora mismo, estamos poniendo la base de la matemática pura para que después se pueda aplicar”. En esa rama tan abstracta de las matemáticas suele haber pocas mujeres, como cuenta por su experiencia la investigadora. “En Alemania, la carrera empieza con matemáticas en general para todos, ahí hay igualdad entre el número de chicas y chicos. Luego, se ramifica para elegir profesorado o bachelor de ciencias en matemáticas, la proporción es entonces de 80 a 20”, cuenta. En un tercer nivel, ella eligió lo puro frente a lo aplicado, y allí era la única mujer en la mayoría de asignaturas. Pero asegura que nunca la hicieron sentir fuera de lugar.

¿Por qué esta diferencia? “Para las mujeres hay bastante presión sobre formar una familia, conseguir un trabajo estable más

o menos jóvenes para poder tener estabilidad y ser independientes. No en la comunidad matemática, sino en la sociedad en general”, opina Heinze. “La generación de nuestros padres tiene ese miedo a que si no tiene un trabajo estable pronto se va a ser dependiente del marido. Creen que lo mejor es hacer una carrera y buscar un trabajo rápido. Empezar a trabajar en investigación no da esa estabilidad”. Sin embargo, la matemática tiene claro que esto es lo que le gusta, y anima a las demás chicas a hacer lo mismo con su futuro. “Has de pensar lo que quieres hacer y no debes hacer caso a los demás ni a impedimentos externos. Si quieres estudiar matemáticas e investigar, hazlo”.

De su trabajo, Heinze destaca lo mucho que aprende cuando realiza estancias. “En cada lugar del mundo hay una manera diferente de pensar en matemáticas, incluso de un departamento a otro”, reflexiona la investigadora. “Se crea una especie de cultura sobre cómo piensa la gente y sobre cómo se explican las cosas. Con las estancias consigues entrar un poco en esa cultura”. Para ella es una diferencia difícil de explicar; lo expresa, más bien, como una sensación interna, matices del lenguaje universal de las matemáticas. También le gusta conocer en qué trabajan otros matemáticos, para lo que acude siempre al Seminario Junior que organiza la Universidad Autónoma de Madrid.

Pero no solo de matemáticas vive esta alemana de 28 años, que reside desde hace tres en España. “Me encanta el senderismo y la montaña, tomar unas cañas y hablar de política”, dice Heinze. “También hago Capoeira, soy voluntaria en una protectora de animales, y toco el bajo en una banda de jazz en Madrid”. Heinze empezó con el instrumento a los 15 años, y piensa que hay cosas básicas de números y matemáticas que sirven mucho para el ritmo de la música. “Creo que lo que hay que hacer para ser un buen músico es aprender mucha técnica, pero después olvidarse de ella para ser creativo”, explica también la investigadora. “Al igual que en otros ámbitos, esto también es verdad en matemáticas”. Así, Sonja Heinze es una matemática que se enfrenta con creatividad y decisión al reto diario que le presenta la investigación en matemáticas.

SHE DOES MATHS: Amalia Pizarro



Imagen: ICMAT

Amalia Pizarro

Amalia Pizarro es directora del Instituto de Matemáticas de la Universidad de Valparaíso (Chile) y también miembro del Comité Académico del Consorcio PUCV-UTFSM-UV (Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Universidad Técnica Federico Santa María, Universidad de Valparaíso), donde se encarga de coordinar el doctorado en Matemáticas. Es parte de la Red Iberoamericana de Teoría de números, dirigida por Antonio Córdoba, director del ICMAT. Esta colaboración la trajo al ICMAT de estancia de investigación durante el pasado mes de octubre de 2016.

Campo de investigación:

Aspectos computacionales de la Teoría algebraica de números, y problemas diofánticos con aplicación de herramientas de la teoría analítica de números.

Amalia Pizarro en su visita al ICMAT el mes de octubre de 2016.

Laura Moreno Iraola. En Chile, el porcentaje de mujeres en la investigación en matemáticas alcanza tan solo un 20%. Amalia Pizarro forma parte de esa estrecha proporción, investigando en teoría de números, donde “es imprescindible ser intuitivo y creativo, así como mezclar emociones”. De hecho, actualmente, es la única mujer que realiza investigación en matemáticas de los doce investigadores que trabajan en el [Instituto de Matemáticas de la Universidad de Valparaíso](#).

Pizarro investiga en aspectos computacionales de la teoría algebraica de números, un área que extiende la teoría de números a los llamados *números algebraicos*, es decir, los que son raíces de polinomios con coeficientes racionales. Esta rama de las matemáticas estudia las propiedades de ciertos objetos algebraicos, cuerpos de números y sus anillos de enteros, que son generalizaciones de los números racionales y enteros. Por otro lado, le interesan los problemas diofánticos, aquellos que están relacionados con la resolución de ecuaciones con coeficientes racionales o enteros, para los que emplea herramientas de la teoría analítica de números.

En el último año, y en particular durante su visita al ICMAT el pasado mes de octubre, Pizarro ha estudiado el [crecimiento del llamado conductor de Artin](#). Dicho valor es un invariante asociado a una función (el carácter) de los grupos de Galois, que aporta mucha información, tanto de tipo aritmética, como algebraica. Este fue el tema de su tesis doctoral, y ya ha logrado probar ciertas propiedades, como que puede crecer de

manera exponencial con respecto al grado de la representación a la que está asociado.

Pizarro combina su trabajo como investigadora con el de profesora, y también está especialmente involucrada en el fomento y la divulgación de la matemática. Participa en programas que muestran a los estudiantes las matemáticas que hay más allá del aula, a través de retos, preguntas, curiosidades... con el objetivo de que valoren esta disciplina como parte de su capital cultural.

Desde su posición, no solo de profesora, sino ya de referente, trata de luchar por fomentar el potencial matemático de las mujeres, un ánimo que echó en falta en su época de estudiante, al igual que una figura femenina chilena en la que poder reflejarse. Confiesa que aún hoy en día es patente una brecha de género en el aula; por ejemplo, destaca que los chicos no suelen tener miedo a responder preguntas, sin plantearse si son o no buenos en matemáticas, mientras que ellas se muestran más tímidas e inseguras. También en la investigación observa la desigualdad: su entorno es en su mayor parte masculino, lo que provoca que las mujeres matemáticas se comparen y cuestionen su valía constantemente. Supone un doble trabajo al que ellas deben enfrentarse para mejorar su seguridad y creer que no hay ninguna razón por la que no merezcan su posición. Pizarro opina que la situación está mejorando y destaca el trabajo de colectivos como el de [mujeres matemáticas de Chile](#), los cuales están consiguiendo que la sociedad sudamericana avance en cuestiones de género.

CUESTIONARIO ICMAT: Pilar Bayer Isant, catedrática de Álgebra de la Universidad de Barcelona

“En momentos difíciles es bueno recurrir a
I will survive de Gloria Gaynor”

Imagen: Pilar Bayer



Pilar Bayer es matemática y pianista.

Pilar Bayer Isant

Pilar Bayer Isant nació en 1946 en Barcelona. Es catedrática de Álgebra y, desde este año, profesora emérita de la Universidad de Barcelona. Especialista en teoría de números, su actividad investigadora se ha desarrollado en la Universidad de Regensburg (Alemania) y en el Seminario de Teoría de Números de Barcelona. Previamente, en 1967, había obtenido el título de profesora de piano por el Conservatorio Municipal de Música de Barcelona. Entre sus muchos reconocimientos, fue nombrada Emmy-Noether-Professorin por la Universidad Georg-August de Gotinga (Alemania) en 2004.

Patricia Ruiz Guevara

P1: ¿Por qué se decidió por estudiar matemáticas?

Para mí, el estudio de las matemáticas ha sido algo que se ha dado de forma natural. Desde siempre, ha habido cuestiones matemáticas que han despertado mi interés y que he considerado conveniente aprender —en una primera fase— o investigar —en situaciones más avanzadas.

P2: ¿Cómo fue su primera experiencia con la investigación matemática?

Es difícil situar esta “primera” experiencia. En mis primeros estudios, cuando lograba resolver un problema que me había exigido un esfuerzo considerable me causaba una gran alegría. Sin embargo, las primeras experiencias investigadoras

propia mente dichas se dieron en el transcurso de la realización de la tesis.

P3: ¿Qué es lo que más le gusta de la investigación?

La paz que aporta interiormente. Poder trabajar en un problema matemático durante todo un día es un privilegio y proporciona la sensación de que ha sido un día aprovechado.

P4: ¿Destacaría algún teorema o resultado matemático que le guste especialmente?

Hay muchísimos. Encuentro especialmente fascinante la teoría de la multiplicación compleja llevada a sus últimas consecuencias.

P5: ¿Qué problema matemático cree que constituye el reto más grande actualmente?

Depende de la especialidad. En nuestra área, la teoría de números, destacaría la conjetura de Birch y Swinnerton-Dyer. Es a la vez un reto grande y, probablemente, accesible en las próximas décadas.

P6: ¿Cómo le explicaría la importancia de las matemáticas a alguien que no la entienda?

Distinguiría entre matemática aplicada y matemática fundamental. La primera es fácil de justificar: basta con mencionar cualquiera de las aplicaciones extraordinarias de las nuevas tecnologías referentes a medicina, robótica, visión por ordenador, comunicaciones, transporte, etc. Acerca de la matemática fundamental, solo podría decirle que es una experiencia que debe vivirse para comprenderla.

P7: ¿Por qué son tan esenciales actualmente las matemáticas para el desarrollo científico-tecnológico?

Porque las matemáticas proporcionan un lenguaje que las máquinas pueden comprender.

P8: ¿Cómo describiría su trabajo de investigación actual en pocas palabras?

Estoy centrada en entender y desarrollar las estructuras no conmutativas que están detrás de fenómenos aritméticos que pueden visualizarse a través del cálculo.

P9: ¿Cuál es el trabajo de investigación que más satisfacción le ha dado?

Cualquiera de mis trabajos publicados ha supuesto una larga elaboración y, con frecuencia, lleva detrás la colaboración con otras personas, por lo que es muy querido. También son importantes los resultados que han publicado mis alumnos y alumnas a raíz de sus tesis, aunque no lleven mi nombre. Pero, quizá como reacción más humana, me alegra saber que hay un teorema llamado de Bayer-Neukirch relativo a valores especiales de funciones zeta y de funciones L.

P10: ¿Cuál de los premios que ha recibido le hizo más ilusión?

Me agradó especialmente el nombramiento que recibí en su día de "Emmy Noether Professorin" por la Universidad de Gotinga. Por una parte, me permitió impartir docencia en aquella universidad y, por la otra, lleva el nombre de una de las matemáticas que más admiro.

P11: ¿Cuál diría que es su matemática favorita?

Además de Emmy Noether, entre las matemáticas actuales destacaría a Marie France Vignéras.

P12: La mujer sigue poco presente en la investigación matemática actual, ¿cómo se puede reivindicar su papel?

Con trabajo, trabajo y trabajo por parte de las mujeres. Si se es constante, el reconocimiento debería venir por sí solo. Afortunadamente, la importancia intrínseca de un teorema es independiente del género —y de la nacionalidad— de la persona que lo ha descubierto. Otra cosa es que seamos lo suficientemente generosos para reconocerlo. Tampoco debemos olvidar que las matemáticas se han estado convirtiendo en los últimos años en una actividad cada vez más competitiva.

P13: ¿Qué les diría a las jóvenes para animarlas a trabajar en ciencia y matemáticas?

Son decisiones muy personales... Por principio, jamás he intentado ejercer ninguna influencia directa sobre tales decisiones. Las mujeres pueden hacer excelentes trabajos tanto en el campo

de las ciencias como en el de las humanidades o, en política, atendiendo a la mejora de las condiciones sociales, que tanta falta nos hace. Si una mujer tiene clara ya su vocación científica o, más precisamente, su vocación matemática, le diría que deje a un lado sus posibles temores por el hecho de ser mujer. Obviamente, se va a encontrar con múltiples dificultades, pero estas deben interpretarse como ocasiones para mejorar y para enderezar rumbos equivocados. En momentos especialmente difíciles es bueno recurrir a Gloria Gaynor y escuchar su versión de *I will survive* grabada en 1978.

P14: Sus alumnos dicen cosas muy positivas de usted. ¿Qué es lo que más le gusta de la docencia?

Cuando doy clases procuro ser la primera en aprender cosas nuevas. Desde siempre, he tratado de enseñar en las clases —o en la dirección de trabajos— no lo que ya sabía, sino aquello que yo quería comprender. Ha sido fantástico poder contar siempre con un alumnado motivado.

P15: Su otra pasión es la música, ¿qué le aporta?

¡Ah!, la música. La música es una excelente compañera de viaje. Tal como he dicho antes, la investigación matemática es una actividad relajante; pero, al contrario, la docencia matemática es una actividad estresante y muy agotadora físicamente. Por suerte, la música actúa como elemento compensatorio: la música ejercida como intérprete es una actividad estimulante, pero ejercida como público posee un poder relajante. Así, después de un día dedicado a la investigación es bueno tocar algún instrumento; después de un día dedicado a la docencia, es recomendable acudir a un concierto, escuchar un vinilo o un CD.

P16: ¿Qué relación hay para usted entre música y matemáticas?

Cada vez las veo más parecidas. Ambas disciplinas comportan una labor de creación (composición/investigación), una de divulgación (interpretación/docencia) y una de apreciación (melómanos/estudiantes). Acabo de iniciar una nueva etapa como profesora emérita. Voy a tener más tiempo, así que he empezado a experimentar las semejanzas entre la creación matemática y la creación musical.

P17: ¿Qué libros o autores recomendaría?

Me gusta —para descansar— leer libros de filosofía. Recomendaría preferentemente textos de filósofos que también han sido matemáticos o han tenido un espíritu matemático, así como textos de matemáticos con espíritu filosófico: Platón, Ramon Llull, Francis Bacon, Descartes, Pascal, Spinoza, Leibniz, Bertrand Russell, Hermann Weyl, María Zambrano, Simone Weil, etc.

P18: ¿Cuál es su libro matemático favorito?

Cours d'arithmétique de Jean-Pierre Serre, publicado en Presses Universitaires de France en 1970.

P19: Si pudiera tener una conversación con un matemático del pasado, ¿a quién escogería y de qué hablaría con él?

Escogería a Felix Klein. Era una persona abierta a "nuevas tendencias" pero con los pies en el suelo. Podríamos hablar de la preparación conjunta de un libro coral con "lecciones sobre el desarrollo de las matemáticas en el siglo XX".

P20: ¿Por qué es importante divulgar matemáticas?

La matemática, como toda actividad humana, requiere la apreciación por parte de un público. Las obras de cualquier ser humano necesitan sus cajas de resonancia; de no haberlas, la persona creadora puede deprimirse y ver afectado su rendimiento. La divulgación es importante a todos los niveles y garantiza la continuidad del quehacer matemático que, a su vez, es uno de los más antiguos.

ENTREVISTA: Simon Donaldson, catedrático del Simons Center for Geometry and Physics y del Imperial College, y codirector de uno de los Laboratorios ICMAT

“Encontrar un teorema que siempre ha estado ahí, pero que nadie veía, es gratificante”

Imagen: ICMAT



Donaldson dirige uno de los laboratorios ICMAT junto con Nigel Hitchin (Universidad de Oxford).

Patricia Ruiz Guevara

P: ¿Recuerda cómo y cuándo comenzó su interés por las matemáticas?

R: Cuando tenía aproximadamente 13 años me gustaban las matemáticas, pero no tenía una predilección particular. Sin embargo, estaba muy interesado en diseñar barcos, y para ello me di cuenta de que tenía que aprender ciertas matemáticas más allá de las que nos enseñaban en el colegio. Fue entonces cuando pensé que quería dedicarme a esto.

P: En sus primeros años como investigador contó con la supervisión doctoral de Nigel Hitchin y Michael Atiyah, ¿cómo le influenciaron?

R: Hitchin me inició en un proyecto muy bueno, y yo lo desarrollé por un camino diferente al que él esperaba. Ciertamente, absorbí su estilo de hacer matemáticas y de pensar en matemáticas. Por otro lado, Atiyah tiene un punto de vista muy geométrico, y yo me impregné de sus ideas.

P: Ahora es usted el que dirige tesis doctorales, ¿cómo trata usted de ayudar a sus estudiantes?

R: Disfruto mucho con esta tarea. Tengo muchos estudiantes de doctorado, y he tenido algunos muy buenos, que en realidad apenas han necesitado mi ayuda. En general, intento que los alumnos encuentren su propio camino en la medida que sea posible. Entiendo el papel de supervisor como alguien que hace posible que la persona decida por sí misma hacia dónde dirigir sus pasos.

P: Tenía solo 25 años cuando probó un resultado impresionante que impactó al mundo matemático: que hay espacios

Sir Simon Donaldson (Cambridge, 1957) es catedrático del Simons Center for Geometry and Physics (Stony Brook, EE. UU.) e imparte la asignatura de Matemáticas Puras en el Imperial College de Londres. También codirige de uno de los laboratorios ICMAT junto con Nigel Hitchin (Universidad de Oxford). Donaldson se doctoró en la Universidad de Oxford en 1983, y es especialmente conocido por su trabajo sobre la topología de las variedades tridimensionales diferenciables y por la teoría que lleva su nombre, la de *Donaldson-Thomas*, sobre invariantes en un espacio modular compacto. Recibió la medalla Fields en 1986 por sus resultados en geometría y topología de las 4-variedades diferenciables a través del estudio de un concepto clave de la física matemática, los *instantones*. Al *Nobel de las matemáticas* suma la Medalla Real de la Royal Society en 1992, el Polya Prize de la London Mathematical Society en 1999, el Premio Shaw en 2009 y el Breakthrough Prize in Mathematics en 2014. Es miembro de la Royal Society, y, además, el pasado mes de enero recibió el grado honorífico de Doctor Honoris Causa por la Universidad Complutense de Madrid.

de cuatro dimensiones “exóticos”, que son topológicamente equivalentes al espacio euclídeo R^4 , pero no diferencialmente equivalentes. ¿Cómo lo vivió siendo tan joven?

R: Cuando probé aquel resultado tuvimos una pequeña celebración. Por aquel entonces estaba haciendo el posgraduado en Worcester College, en Oxford, y allí no tuvo tanta repercusión como en otros lugares. En Estados Unidos se habló muchísimo del resultado, en la prensa incluso. Pero creo que realmente nadie se fijó en mí hasta que gané la medalla Fields [ríe].

P: En 1985 ganó su primer premio, y a lo largo de los años los reconocimientos se han sucedido. ¿Qué valor le otorga a estos galardones?

R: Los premios reconocen el camino que has seguido hasta llegar ahí, es satisfactorio. Pero lo importante es que, gracias a ellos, las matemáticas obtengan mayor visibilidad y la gente entienda que no son solo una asignatura.

P: Por ejemplo, fue galardonado con el premio Shaw, dotado con un millón de dólares; eso llama la atención de la gente.

R: Claro, la gente pensará, ¡oh, un matemático ha recibido un gran premio!, y esto aumenta la reputación de las matemáticas en la sociedad, que es lo importante.

P: También fue nombrado Caballero en 2012, ¿le afectó de alguna manera?

R: Esencialmente, no. Pero mi familia a veces dice que me dan mejores lugares en los vuelos [ríe]. Es un honor que realmente aprecio, y, de nuevo, es fantástico para darle visibilidad a las matemáticas. No me ha cambiado la vida de manera específica, pero me hace muy feliz.

P: ¿Qué episodio de su larga carrera académica ha disfrutado más?

R: Es algo difícil de decir. Quizá destacaría el primero, del que ya hemos hablado, cuando tenía 25 años. Fue bastante memorable y sorprendente encontrar de pronto esos resultados. Resolví un problema alrededor de las variedades simplécticas, en el que muchas personas habían trabajado durante años. Nunca pensé conseguirlo y fue muy satisfactorio.

P: Usted ha trabajado en geometría, topología y geometría algebraica. ¿En qué está investigando ahora mismo?

R: Estoy principalmente investigando en problemas relacionados con espacios de dimensión pequeña, específicamente, dimensión 7 y 8. Es un área en la que he pensado a lo largo de los años, pero de manera indirecta, a través de mis alumnos. Nunca me había enfocado directamente en ello, es algo ligeramente nuevo para mí, así que es refrescante.

P: ¿Y cuáles son las aplicaciones de su investigación, en matemáticas o en otras áreas?

R: Las cosas en las que trabajo tienen conexiones importantes con la física teórica, pero a un nivel más general. La principal aplicación de mis resultados es poder coger ideas de un área de las matemáticas y usarlas en otra.

P: ¿Cómo le explicaría a la gente el valor de su investigación?

R: Encontrar un teorema o un resultado que siempre ha estado ahí, pero que nadie veía, es siempre gratificante. Se puede apreciar su belleza más allá de sus aplicaciones. Por otro lado, las matemáticas son un campo amplísimo con muchas interrelaciones, nadie puede realmente entenderlo todo. Unas partes son más aplicadas, y otras más teóricas, pero al final todo está relacionado y todo es útil. Por ejemplo, las ecuaciones en derivadas parciales son matemáticas aplicadas y cruciales, pero también tienen un aspecto que involucra cuestiones teóricas fundamentales de análisis, relacionadas con geometría y otras ramas.

P: Participa en los Laboratorios ICMAT, ¿qué opina de esta apuesta?

R: El laboratorio es otro nivel de colaboración, diferente al que se desarrolla de manera puntual cuando intentas probar un resultado particular. Esto es menos formal, más como una conversación: la gente se mueve alrededor de la pizarra y discute las cosas entre ellos, pero no tienen que escribir necesariamente un artículo juntos. Un día estaba hablando con Óscar García-Prada

y otro compañero sobre un problema relacionado con la conjetura de Yau-Tian-Donaldson; más tarde, conversé con Fran Presas sobre las áreas simplécticas. Hay varios temas en el programa del trabajo del laboratorio cercanos a mi interés, y estoy deseando discutirlos aquí.

P: Sobre esa conjetura, la de Yau-Tian-Donaldson, probó un resultado junto a otros dos científicos en 2012.

R: Efectivamente, estuve trabajando en esa área alrededor de quince años, pero tendía a evitar ese resultado en particular, porque ya había mucha gente tratando de demostrarlo. Finalmente, en 2008 empecé a pensar en él. Xiuxiong Chen tenía experiencia en algunos aspectos particulares que pensé que podían ser relevantes, así que unimos fuerzas en el proyecto. Junto a Song Sun, encontramos una manera de superar uno de los mayores problemas. Había escrito otros artículos con colaboraciones antes, pero esta fue la primera vez en la que trabajé con dos compañeros de manera continuada.

P: Se dice que las matemáticas son universales. Usted ha trabajado en diferentes países, ¿son efectivamente un lenguaje universal, o hay diferencias en la manera de pensar o trabajar?

R: La primera respuesta es que las matemáticas son internacionales, desde luego. La gente me pregunta cuál es la diferencia de trabajar la mitad del tiempo en Londres, la mitad en Estados Unidos... La verdad es que no hay diferencia, y esto es verdad en general. Puedes ir a la India, Polonia, o cualquier sitio alrededor del mundo, y hablar de matemáticas. Al final es más o menos la misma experiencia. Pero la segunda respuesta es que hay entusiasmos diversos y diferencias culturales. Es peligroso generalizar, pero, por ejemplo, algunos matemáticos están más centrados en resolver problemas o teoremas, y otros en entender la teoría. Sí que hay algunas diferencias culturales matemáticas.

P: Ahora mismo, las matemáticas parecen estar muy bien consideradas como opción profesional. ¿Cuál cree que es el futuro?

R: Es cierto que hay una alta demanda de matemáticos, y creo que es algo que hace más consciente a la gente de la importancia de nuestra disciplina. Esto está despegando cada vez más, y pienso que irá aumentando a lo largo de los años, ya que las matemáticas están en la base de casi cualquier actividad. Por ejemplo, a medida que aumente el desarrollo de la computación, las matemáticas estarán cada vez más presentes en la búsqueda de caminos inteligentes para resolver problemas.



Donaldson durante una de sus visitas al ICMAT.

RESEÑA CIENTÍFICA: Avances en el problema de moduli para el sistema de Strominger

Nombre del artículo: Infinitesimal moduli for the Strominger system and Killing spinors in generalized geometry.

Autores: Mario Garcia-Fernandez (ICMAT), Roberto Rubio (IMPA), Carl Tipler (Université de Bretagne Occidentale).

Fuente: Mathematische Annalen.

Fecha publicación: 1 de septiembre de 2016.

doi: 10.1007/s00208-016-1463-5.

El llamado *sistema de Strominger* de ecuaciones en derivadas parciales tiene su origen en la teoría de cuerdas de la física. La primera vez que se consideró en la literatura matemática fue en un artículo del medallista Fields Shing-Tung Yau y el investigador de la Universidad de Stanford Jun Li, publicado en 2005 en el *Journal of Differential Geometry*. El estudio matemático de esta ecuación se propuso como una generalización del *problema de Calabi*, resuelto en 1977 por Yau.

El problema de existencia de soluciones para el sistema de Strominger ha sido un tema de investigación muy activo durante los últimos diez años. Siguiendo la solución que dio al problema de Calabi, Yau propuso una conjetura fundamentada en las familias de ejemplos construidos hasta la fecha. Dicha conjetura permanece abierta, principalmente debido a la imposibilidad de aplicar técnicas que funcionaron en el problema de Calabi (de geometría Kähler) y por la falta de comprensión de la geometría de las ecuaciones.

En relación con la conjetura de Yau aparece el problema de la construcción de un *espacio de moduli de soluciones* para el sistema de Strominger. Esta cuestión está también motivada por la clasificación de variedades de Calabi-Yau en geometría algebraica (la llamada *fantasía de Reid*), y por sus relaciones con la simetría espejo. Las ecuaciones de Strominger, así como otras muchas ecuaciones provenientes de la física, admiten familias continuas de soluciones, debido a la existencia de simetrías *gauge* que preservan las ecuaciones. Una solución al problema de moduli consiste en construir una variedad diferenciable, cuyos puntos parametrizan soluciones del sistema, módulo simetrías. Las ecuaciones dictan una geometría en esta variedad, que subyace al problema de existencia de soluciones. Pero por el momento el problema de moduli para el sistema de Strominger permanece abierto, incluso se desconoce la estructura geométrica del espacio de soluciones alrededor de una solución dada.

En un artículo publicado recientemente en *Mathematische Annalen*, Mario Garcia-Fernandez (ICMAT), Roberto Rubio (IMPA) y Carl Tipler (Université de Bretagne Occidentale) han hecho una

contribución al problema. Los investigadores han construido el espacio de variaciones infinitesimales de una solución y un espacio de obstrucciones a la integrabilidad, demostrando que estos espacios son de dimensión finita mediante la teoría de operadores elípticos. También han iniciado el estudio de la geometría del espacio de moduli, y han descubierto una foliación natural, es decir, una descomposición en capas (hojas) del espacio de moduli, dadas por subvariedades de dimensión inferior. Estas capas están en correspondencia con (clases de homotopía de) *estructuras de cuerda*, un tipo de estructura topológica muy sofisticada introducida por Timothy Killingback y Edward Witten en los años ochenta.

Estudiando el espacio tangente a una hoja, los autores encontraron una relación sorprendente con la geometría generalizada, introducida por el profesor Nigel Hitchin (Universidad de Oxford). Para ello ofrecieron una interpretación de las hojas como espacios de moduli de las soluciones de ciertas ecuaciones (de naturaleza espinorial) sobre una estructura algebraica llamada *algebroides de Courant*, determinado por la elección de una estructura de cuerda. Esta construcción posibilita un marco unificador para métricas con holonomía especial, según la clasificación de Berger, y para soluciones del sistema de Strominger, que se espera que tengan aplicaciones a la conjetura de Yau.

Los métodos que se usan en este trabajo han sido clave en la reciente demostración de un principio de T-dualidad para las ecuaciones de Strominger, firmada por Mario Garcia-Fernandez, que relaciona pares de soluciones en variedades con diferente topología.

Referencias:

1. J. Li, S.-T. Yau, *J. Diff. Geom.* 70, 2005.
2. J.-X. Fu, *Proc. ICM, Hyderabad, India*, 2010.
3. L.-S. Tseng, S.-T. Yau, *Proc. Sympos. Pure Math.*, 85, Amer. Math. Soc., Providence, RI, 2012.
4. M. Garcia-Fernandez, *Travaux Mathématiques*, Vol. XXIV, 2016.



RESEÑA CIENTÍFICA: Resuelto el problema de Berry para el oscilador armónico

Nombre del artículo: A problem of Berry and knotted zeros in the eigenfunctions of the harmonic oscillator.

Autores: Alberto Enciso (ICMAT), David Hartley (ICMAT) y Daniel Peralta-Salas (ICMAT).

Fuente: Journal of the European Mathematical Society.

Fecha publicación: en imprenta.

Resumen: El operador de Schrödinger es un elemento clave en la mecánica cuántica, que se emplea para analizar diferentes sistemas. Sus llamadas *autofunciones* son funciones de onda para un sistema con potencial V . El conjunto nodal de estas autofunciones representa los puntos en los que un evento tiene probabilidad cero de ocurrir. En 2001, el físico Michael Berry (Universidad de Bristol) consiguió construir funciones de onda para el átomo de hidrógeno para las que el conjunto nodal contenía una curva conocida como nudo trébol. Además, conjeturó que es posible realizar cualquier topología como parte del conjunto nodal de una función de onda para algún sistema cuántico. Esto es precisamente lo que han probado Alberto Enciso (ICMAT), David Hartley (ICMAT) y Daniel Peralta-Salas (ICMAT) en un artículo que aparecerá en el siguiente número de la revista de la Sociedad Europea de Matemáticas.

Más información:

Complex-valued functions, that are eigenfunctions of the Schrödinger operator, i.e. that satisfy the relationship

$$(-\Delta + V)\psi = \lambda\psi \quad (1)$$

for some constant λ , are the wavefunctions for a system with potential V . Here Δ is the Laplacian in \mathbb{R}^3 which is given in Cartesian coordinates by

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \quad (2)$$

The nodal set $\psi^{-1}(0)$, also called the zero set, of a wavefunction represents where an event has zero probability of occurring. It is also related to the dislocations of the system (singularities of the current field). Note that typically the nodal set of a complex-valued function will be a curve in \mathbb{R}^3 . In 2001 Professor Sir Michael Berry was able to construct wavefunctions of the hydrogen atom ($V = -2/r$, with $r^2 = x^2 + y^2 + z^2$) where the nodal set contained a trefoil knot, see Figure 1(a).

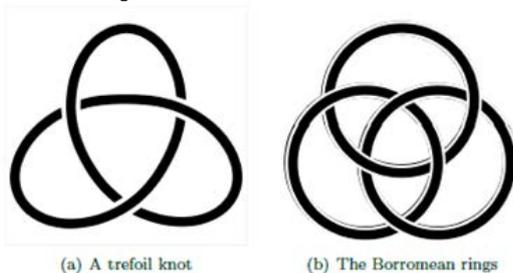


Figure 1: Two types of knots

He also conjectured that it should be possible to realize any topology, for example the Borromean rings in Figure 1(b), as part of the nodal set of a wavefunction to some quantum system.

In a paper to appear in the Journal of the European Mathematical Society researchers Alberto Enciso (ICMAT), David Hartley (ICMAT), and Daniel Peralta-Salas (ICMAT) provided a proof of this conjecture. In fact the paper, titled A problem of Berry and knotted zeros in the eigenfunctions of the harmonic oscillator, considered only the quantum harmonic oscillator system ($V = r^2$) and proved that for any link in \mathbb{R}^3 there exists a wavefunction of this system containing the link in its nodal set. The eigenvalues (values of λ in (1) for which a wavefunction exists) of the harmonic oscillator are of the form $\lambda_N = 2N + 3$, for $N \in \mathbb{N}$, which allows the authors to consider what happens at large energies (large λ).

In this situation, after a rescaling of space by a factor of $\sqrt{\lambda}$, the wavefunctions approximate, in the sense

$$\left\| \psi_N \left(\frac{\cdot}{\sqrt{\lambda N}} \right) - \varphi \right\|_{C^1(B)} \leq \frac{C}{N} \quad (3)$$

where B is a bounded set, solutions of the Helmholtz equation

$$(\Delta + 1)\varphi = 0 \quad (4)$$

The authors show that any link can be realized as a component of the nodal set of some solution to (4) and that the component is structurally stable, i.e. perturbing the function slightly does not affect the topology of the nodal set. The existence of a high energy wavefunction with a nodal set containing a link of the same topology as the one considered then follows from the approximation mentioned above.

An important property of the Schrödinger operator is that there is high degeneracy of each eigenvalue, in particular for each $N \in \mathbb{N}$ there are $1/2(N+1)(N+2)$ linearly independent solutions to (1). This ensured the existence of families of wavefunctions, all of the same energy, with a rich behavior in the angular variables. This was key in proving any solution of (4) has a wavefunction close to it (in the sense of the estimate (3)). An interesting aspect of the result is that the rescaling of space means that the important component of the nodal set of the wavefunction will be contained in a small ball of order $\lambda^{-1/2}$.

In a recent paper by the same authors, *Dislocations of arbitrary topology in Coulomb eigenfunctions* (accepted for publication in Revista Matemática Iberoamericana) the problem is reconsidered in the hydrogen atom setting, which was where Berry did his original work. This setting introduces new problems such as the singularity of the operator at the origin and the energy of the wavefunctions being bounded, $\lambda_N = -1/N^2$

However, the high degeneracy in each eigenvalue remained and allowed the authors to again prove the conjecture using this potential, in this case realizing the links inside a ball of radius $\sqrt{\pi}/4$ (that is, of order 1).

The fact that fine aspects related to the degeneracy of the eigenspaces is crucial for the proof is remarkable. Indeed, the harmonic oscillator and Coulomb potentials are the prime example of what is called in physics "accidental degeneracy", which the property that the proof actually hinges on. Accidental degeneracy is a manifestation of the superintegrability of the Coulomb and harmonic oscillator systems. Therefore, in a way, the proof can be regarded as a quite surprising application of superintegrability to the study of nodal sets of eigenfunctions of Schrödinger operators.

ACTUALIDAD MATEMÁTICA: Noticias ICMAT

Alberto Enciso, investigador del ICMAT, elegido miembro del Comité de la Agencia Estatal de Investigación

Imagen: ICMAT



Alberto Enciso recibió una ERC Starting Grant en 2014.

El Ministerio de Economía, Industria y Competitividad ha comunicado los nombres de los 12 científicos que forman de la Agencia Estatal de Investigación, entre los que se encuentra Alberto Enciso, investigador del Consejo Europeo de Investigación (ERC) en el Instituto de Ciencias Matemáticas (ICMAT). El Comité es el principal órgano consultivo de la Agencia, y se reunirá periódicamente, cada cuatro meses, con el objetivo de asesorar a la

Agencia sobre el plan anual de actividades y sobre los principios, metodologías y prácticas de evaluación científica y técnica. "Es una gran responsabilidad", asegura Enciso, "ya que contribuiremos a la toma de decisiones para maximizar los resultados científicos con los recursos disponibles".

El matemático, nacido en 1980, es el miembro más joven de la Comisión, que cuenta con una distribución equilibrada de todas las grandes áreas de conocimiento. Junto a Enciso, forman el Comité Luis Fernando Álvarez-Gascón, Manuel Arellano, Avelino Corma, Ana María Cuervo, Violeta Demonte, Antoni Esteve, Luis Liz Marzán, Susana Marcos, Ángela Nieto, José María Ordoz y Carme Torras.

Alberto Enciso estudia las estructuras geométricas y topológicas de las ecuaciones en derivadas parciales y de la física matemática, por lo que emplea y desarrolla herramientas en la frontera del análisis y la geometría. En esta área ha obtenido importantes resultados junto al también investigador ERC en el ICMAT Daniel Peralta-Salas. En 2011 obtuvo el premio al mejor matemático joven de español José Luis Rubio de Francia de la RSME, y en 2013 el premio al mejor matemático aplicado español Antonio Valle de la SEMA. En 2014 le concedieron el premio Príncipe de Girona de Investigación Científica y en 2015 el premio Barcelona Dynamical Systems. Desde 2014 desarrolla un proyecto Starting Grant del Consejo Europeo de Investigación.

Matemáticas para analizar los fallecimientos de madres y bebés en Ghana

Imagen: ICMAT



Adebani permanecerá seis meses en el ICMAT dentro del programa Science by women.

Atinuke Adebani (Universidad de Ciencia y Tecnología Kwame Nkrumah de Kumasi, Ghana) se ha incorporado en al DataLab del ICMAT a través del programa [Science by Women](#), de la Fundación Mujeres por África. En su proyecto, de seis meses de duración, evaluará con técnicas estadísticas la efectividad de las políticas de salud públicas para reducir la mortalidad perinatal.

El proyecto responde a una problemática social: en los países de África Subsahariana se acumulan las cifras más altas de fallecimientos de mujeres asociados al parto y de niños menores de cinco años. En Ghana, por cada 100.000 partos se producen entre 270 y 340 muertes; y por cada 1.000 niños que sobreviven al naci-

miento, 41 perecen al poco tiempo. Ante estos preocupantes datos, el Gobierno del país puso en marcha una serie de medidas a comienzos de 2010, y para determinar su efectividad es necesaria una evaluación exhaustiva que emplee técnicas estadísticas.

"Queremos hacer un análisis espacio-temporal que nos permita ver si en ciertos momentos y lugares hay números más altos de muertes", explicaba Adebani. "Hay zonas en las que tienen más prevalencia ciertas prácticas dañinas para la salud, como la mutilación genital femenina, y resulta interesante relacionarlas con un mayor riesgo de mortalidad femenina. Una vez se establecen estas relaciones pueden ayudar a la promoción de la salud, para favorecer un cambio de comportamiento en las comunidades", aseguró.

El programa es una de las líneas principales del plan de género del ICMAT, puesto en marcha con el Programa Severo Ochoa. "Es una oportunidad de la que se pueden beneficiar ambas partes. Por un lado, el programa supone un apoyo al trabajo que realizan las mujeres investigadoras en África. Por otro, se trata de una aportación positiva a la vertiente más aplicada de las matemáticas dentro del Instituto", afirma Ana Bravo, directora de la Comisión de Género del ICMAT.

Es el segundo año del programa, y el ICMAT vuelve a participar junto a otros centros de excelencia Severo Ochoa como el Centro Nacional de Investigaciones Oncológicas, el Instituto de Ciencias Fotónicas, el Instituto de Salud Carlos III, el Centro Nacional de Biotecnología, el Centro de Regulación Genómica y el Barcelona Graduate School of Economics. Este año, serán ocho las investigadoras africanas sénior que se incorporarán a los centros españoles.

El ICMAT celebra el 10º aniversario del 'European Research Council' con un encuentro científico

El [Consejo Europeo de Investigación](#) (ERC, por sus siglas en inglés) [cumple 10 años](#) en 2017 y lo celebró durante la semana del 13 de marzo con actividades en todo el continente. El ICMAT se sumó a la iniciativa con un [encuentro científico sobre las matemáticas y el ERC en España](#), que tuvo lugar en el Instituto los días 13 y 14 de marzo. "El objetivo es realizar un análisis de lo que está suponiendo el programa para la comunidad matemática española", señalaba Manuel de León, investigador y fundador del ICMAT, y organizador del encuentro.

El evento contó con la presencia de José Manuel Fernández de Labastida, director científico del ERC, que impartió la conferencia inaugural, y con la gran mayoría de los matemáticos que han sido reconocidos por el ERC mediante la financiación de sus proyectos en España, que presentaron sus proyectos. En el encuentro además se incluyó una mesa redonda en la que participaron José Manuel Torralba Castelló, director general de Universidades e Investigación de la Comunidad de Madrid; Jorge Velasco González, Coordinador Institucional del CSIC, Bruselas; Marina Pilar Villegas Gracia, Directora de la Agencia Estatal de Investigación; y Alberto Enciso Carrasco, Investigador ERC en el ICMAT.

Los proyectos ERC distinguen a los mejores investigadores en Europa. Los miembros del ICMAT han obtenido diez ayudas de este tipo, una cifra superior al resto de instituciones matemáticas del mundo. "En el ICMAT se apostó desde sus inicios por la búsqueda de los matemáticos jóvenes más prometedores



Imagen: ICMAT

En la mesa redonda del encuentro se debatió el futuro del ERC. De izquierda a derecha: Manuel de León, Marina Villegas, Jorge Velasco, José Manuel Torralba y Alberto Enciso.

del momento. Una muestra del éxito de esta posición es el número de proyectos ERC obtenidos desde el corto tiempo que el Instituto lleva en funcionamiento", apuntaba David Martín de Diego, vicedirector del ICMAT.

Carlos Moedas, comisario europeo de Investigación, Ciencia e Innovación, visitó el ICMAT

El comisario europeo de Investigación, Ciencia e Innovación, Carlos Moedas, visitó el pasado 10 de febrero el ICMAT. Además de recorrer las instalaciones del centro, Moedas participó en un encuentro con seis de los ocho investigadores del Instituto reconocidos con una ERC Grant, y Carmen Vela, secretaria de estado del+D+i; Juan María Vázquez, secretario general de Ciencia e Innovación; Marina Villegas, directora de la Agencia Estatal de Investigación; Clara Eugenia García, directora general de Política de I+D+i; José María Sanz, rector de la UAM; Rafael Garesse, vicerrector de Investigación e Innovación de la UAM; Emilio Lora, presidente del CSIC; Cristina de la Puente, vicepresidenta de Investigación Científica y Técnica del CSIC; Juan Romo, rector de la UC3M; José Manuel Pingarrón, vicerrector de Transferencia del Conocimiento y Emprendimiento de la UCM; Antonio Córdoba, David Martín y Javier Parcet, director y vicedirectores del ICMAT.

El Comisario destacó el apoyo que suponen los proyectos ERC en la carrera de científicos brillantes, permitiendo que puedan desarrollar proyectos de frontera en los Estados Miembros. "Europa es el áncora sólido de la ciencia", señaló Moedas. También subrayó la importancia de poder transmitir ese avance científico a la sociedad. "El secreto de ser un científico hoy es saber contar una historia", afirmó.

"Es un orgullo que la Secretaría de Estado y la Comisión Europea hayan considerado al ICMAT, un centro de reciente creación,



Imagen: UAM

Carlos Moedas (en el centro) en la biblioteca del ICMAT, junto a Antonio Córdoba (derecha) y David Martín de Diego (izquierda).

para una visita de este nivel, como ejemplo de la investigación de excelencia que se hace en España", señalaba David Martín de Diego, vicedirector del ICMAT. "Es un reconocimiento de la labor del Instituto como espacio de creación e interacción de la comunidad matemática mundial", proseguía Antonio Córdoba, director del ICMAT.

La obra de teatro *El Aumento* lleva la matemática al escenario



Imagen: Blanca Gómez Terán

En la obra los actores representan elementos de un esquema lógico.

Durante los meses de febrero y marzo, el ICMAT organizó la representación de la obra de teatro *El Aumento* (*L'Augmentation*, 1967), del francés Georges Perec (1936-1982) en diferentes centros culturales de Madrid: el Auditorio de la Universidad Carlos III de Madrid, La Casa Encendida, el Institut Français, el IES Beatriz Galindo y la Residencia de Estudiantes. Para ello ha contado con la ayuda de la compañía El Hijo Tonto (EHT) y la dramaturga Andrea Díaz, encargados de la puesta en escena. La obra ha tenido una gran respuesta del público, completando el aforo de todos los espacios en los que ha sido programada.

La matemática es la principal inspiración de esta obra experimental, y aparece, no en el contenido, sino en la estructura. La trama sigue un diagrama de flujo, que modela matemáticamente una sencilla situación: un empleado va a pedir un aumento a su jefe

de planta. El autor identifica una serie de obstáculos (encontrar al jefe en su despacho, entablar una conversación con la secretaria, conseguir ser convincente...) como variables booleanas, es decir, variables que pueden tomar solo dos valores: cero o uno, positivo o negativo. Los actores en escena representan el esquema lógico que aparece con cada obstáculo (la proposición, la alternativa, la hipótesis negativa, la hipótesis positiva, la elección y la conclusión). Cada conclusión da lugar, a su vez, a un camino diferente, que concluye en un único destino: la negación del aumento con la esperanza de tener más suerte la próxima vez.

El texto sigue todos estos caminos del grafo, dando como resultado un drama combinatorio, en el que brilla el humor absurdo de Perec. "Con esta obra pretendemos mostrar al público general la relación de las matemáticas con el arte; en este caso, con las artes escénicas", comentó David Martín de Diego, vicedirector del ICMAT. Las ideas matemáticas de la obra están desarrolladas en el folleto de mano elaborado por el ICMAT, en el que se presentan conceptos como "grafo", "modelización" e "implicación lógica".

El Aumento es una obra enmarcada en la corriente literaria del Taller de Literatura Potencial, *OuLiPo* (Ouvroir de Littérature Potentielle en francés) a la que pertenecía Georges Perec. La formaban matemáticos y escritores que buscaban una vía de creación que combinase "restricciones" racionales, de carácter matemático en muchos casos, y la palabra.

Charles Fefferman, premio Wolf en matemáticas



Imagen: ICMAT

Fefferman dirige un Laboratorio ICMAT.

El Premio Wolf, uno de los galardones más importantes que se otorga a artistas y científicos vivos por "su contribución única en pos de la humanidad y las relaciones entre los pueblos, sin distinción de nacionalidad, raza, color, religión, sexo o tendencias políticas", ha sido otorgado a Charles Fefferman (Universidad de Princeton, EE. UU.), director de uno de los Laboratorios ICMAT. Los reconocimientos recaen en seis campos; entre ellos, las matemáticas. Fefferman comparte el galardón con Richard Schoen (Universidad de Stanford y Universidad de California, EE. UU.), "por sus contribuciones en análisis y geometría", respectivamente.

Fefferman es colaborador habitual en el ICMAT y director de uno de los laboratorios del Instituto que comenzó con el primer programa Severo Ochoa (2012-2015) y que ha sido renovado con la consecución del siguiente (2016-2019). Ha dirigido la tesis doctoral de siete matemáticos españoles, entre los que se encuentran Diego Córdoba (ICMAT) y Antonio Sánchez-Calle (UAM). También son frecuentes sus visitas a la Universidad Autónoma de Madrid, por la que fue investido Doctor Honoris Causa en 1990. Ha contribuido con resultados fundamentales en importantes áreas como Análisis

Armónico, Ecuaciones Diferenciales, Variables Complejas, Mecánica Cuántica, Mecánica de Fluidos y Geometría Conforme. Asimismo, Fefferman es editor de la Revista Matemática Iberoamericana desde su fundación.

El resto de los premios, todos dotados con 100.000 euros, fueron para Robert Bergman (Universidad de Berkeley, EE. UU.), en química; Michel Mayor (Universidad de Cambridge, Reino Unido) y Didier Queloz (Universidad de Ginebra, Suiza), en física; James Allison (Universidad de Texas, EE. UU.), en medicina; y en artes (música, arquitectura, pintura o escultura), Laurie Anderson y Lawrence Weiner, ambos de Nueva York, EE. UU. En agricultura, ha resultado desierto.

Eva Miranda, primera matemática española distinguida con una Chaire d'Excellence de la Fundación de Ciencias Matemáticas de París



Imagen: Philippe Monnier

Eva Miranda es colaboradora habitual del ICMAT.

Eva Miranda, profesora de Geometría y Topología de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC) en Barcelona y miembro del Laboratorio Viktor Ginzburg del ICMAT, desarrollado durante el primer programa Severo Ochoa (2012-2015), fue galardonada el pasado mes de enero con una cátedra de la Fundación de Ciencias Matemáticas de París (FSMP). La distinción, denominada Chaire d'Excellence, permite que científicos extranjeros puedan realizar proyectos de investigación en centros de la Fundación, con una duración de cuatro a doce meses. Junto a Miranda, el otro galardonado de este año es Tim Gowers, matemático británico profesor en la Universidad de Cambridge y medallista Fields en 1998.

Esta distinción de excelencia es un mérito muy relevante que ha sido concedido en años anteriores a matemáticos de la talla de Edward Frenkel, Sergiu Klainerman, Gunther Uhlmann, Herbert Spohn y Nader Masmoudi, entre otros. En este caso, es un mérito especialmente importante, ya que es la primera vez que se concede a un matemático español. Además, Eva Miranda es la segunda mujer distinguida, después de Hélène Esnault, quien la obtuvo en 2011.

El proyecto en el que trabajará la investigadora durante su FSMP Chair se titula *Singular symplectic structures in Geometry and Celestial Mechanics*, una investigación que relaciona las estructuras simplécticas singulares con la mecánica celeste, y que "aparece como la fusión de diversas ideas, algunas de ellas gestadas en el laboratorio Viktor Ginzburg", explicó Miranda.

AGENDA

Actividades científicas

Gauge Equations, Geometry and Strings

Fechas: 17 y 18 de abril

Entangle this: tensor networks and gravity.

Fechas: 8-10 de mayo

XIV Advanced course in Operator Theory and Complex Analysis

Fechas: 19-22 de junio

ICMAT School - 11th International Summer School on Geometry, Mechanics and Control

Fechas: 26-30 de junio

New Trends in Applied Geometric Mechanics -- Celebrating Darryl Holm`s 70th birthday

Fechas: 3 – 7 de julio



Boletín trimestral
Instituto de Ciencias Matemáticas
N.14 – Primer trimestre 2017

Producción:

Instituto de Ciencias Matemáticas (ICMAT)
C/ Nicolás Carrera nº 13-15
Campus de Cantoblanco, UAM
29049 Madrid ESPAÑA

Divulga S.L
C/ Diana 16-1º C
28022 Madrid

Comité editorial:

Antonio Córdoba
Ágata Timón

Coordinación:

Ignacio F. Bayo
Laura Moreno
Ágata Timón

Diseño:

Fábrica de Chocolate

Maquetación:

Equipo globalCOMUNICA

Traducción:

Jeff Palmer

Redacción:

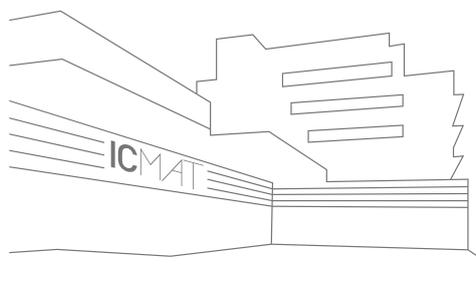
Elvira del Pozo
Laura Moreno
Patricia Ruiz
Ágata Timón

Creative Commons



ICMAT

INSTITUTO DE CIENCIAS MATEMÁTICAS



C/ Nicolás Cabrera, nº 13-15
Campus Cantoblanco UAM
28049 Madrid, Spain

www.icmat.es

