

## EDITORIAL

### Diez años de ICMAT

Hace ya diez años se firmaba el convenio de creación del Instituto de Ciencias Matemáticas. Fue el 29 de octubre de 2007, tras un largo recorrido desde la decisión de ponerlo en marcha en 2005 por parte de la dirección del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), presidida entonces por Carlos Martínez Alonso.

En 2005, el Departamento de Matemáticas del Instituto de Matemáticas y Física Fundamental (IMAFF), presentó una propuesta independiente para el Plan Estratégico 2006-2009, con el propósito de actualizarlo y estructurarlo de una forma más adecuada. Aquella fue, probablemente, la iniciativa más importante que se ha llevado a cabo en la historia de las matemáticas del CSIC. Los planes de cada instituto se coordinaban después con los de las áreas y los propios de la organización central para constituir el plan global que, tras esa evaluación internacional e independiente, llevaría a una reestructuración y una asignación de recursos económicos y humanos acordes con las evaluaciones.

El plan del Departamento de Matemáticas fue evaluado por una comisión externa encabezada por Jean-Pierre Bourguignon, actual presidente del European Research Council (ERC), que señaló la relevancia de las matemáticas dentro del CSIC, la extraordinaria calidad que los jóvenes investigadores habíamos sido capaces de reunir y la necesidad de una sede adecuada, así como el deber de aumentar la visibilidad de la disciplina en el CSIC, creando un instituto de matemáticas. Este centro se fue configurando finalmente como un instituto mixto entre el CSIC y tres de las universidades madrileñas, con el objetivo de convertirse en (tal y como reza la introducción al citado convenio):

“... un cauce conveniente para la coordinación y el desarrollo de la actividad investigadora en Ciencias Matemáticas buscando su intensificación y la creación de canales convenientes para la transferencia del conocimiento matemático a otras ciencias y a los sectores tecnológicos, industriales y financieros.”

Tuve el honor de ser nombrado director en funciones para llevar adelante todo el proyecto. Yo comencé mi carrera en el CSIC una mañana de enero de 1986, cuando aterricé en el campus central y ocupé mi despacho en la c/ Serrano 123, como Investigador Científico. Dos décadas después, esa firma de 2007 significó un gran logro, fruto de una lucha por recuperar el lugar natural de las matemáticas en el CSIC. Como decía entonces (y sigo manteniendo): “el CSIC no puede vivir sin las matemáticas, ni la comunidad matemática española puede ser eficiente sin el CSIC”.

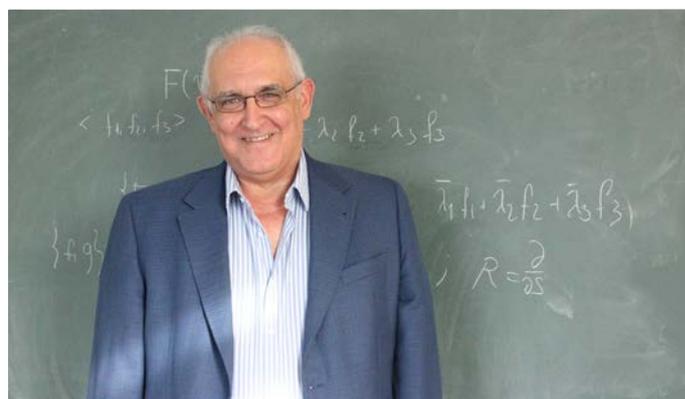


Imagen: ICMAT

Manuel de León, director del ICMAT.

## CONTENIDOS

Editorial: Manuel de León (ICMAT).....	1
Reportaje: Ocho líneas, nueve grupos y diez años....	3
Entrevista: Yakov Sinai (Universidad de Princeton)..	6
Crónica: Heidelberg Laureate Forum 2017.....	7
Entrevista: Mario Livio (astrofísico y escritor de libros de divulgación).....	10
She Does Maths: Patricia Contreras (UCM-ICMAT)...	12
Entrevista: Victoria Ley (Agencia Estatal de Investigación).....	13
Reseña científica: “Modelos para predecir el tráfico” ..	15
Reseña científica: “Vórtices gravitacionales, cuerdas cósmicas y las ecuaciones de Kähler–Yang–Mills” .....	17
Perfil: Simón Rodríguez (CSIC-ICMAT).....	19
Cuestionario ICMAT: Liz Mansfield y Peter Clarkson..	20
Cuéntame tu tesis: Tania Pernas.....	22
Noticias ICMAT.....	24
Agenda.....	28

El ICMAT se había ido conformando, en lo que tocaba al CSIC, fundamentalmente con contratados Ramón y Cajal, investigadores que luego han sido los receptores de hasta diez proyectos del ERC, el récord entre los centros de investigación matemática europeos. Estos éxitos han ido acompañados de muchos otros logros, como la Cátedra AXA de David Ríos Insúa, una de las ocho existentes en España en todos los campos científicos, y la única de todo el CSIC.

A partir del año 2011, el ICMAT pudo gozar de una sede propia, un magnífico edificio en el campus de la UAM, que también aloja al Instituto de Física Teórica.

Desde mi nombramiento inicial en funciones (formalmente el 19 de enero de 2008), mi trabajo estuvo siempre al servicio de las cuatro instituciones y del Instituto; pasé a ser director el 12 de julio de 2012, y no puedo estar más que orgulloso de haber liderado este proyecto que, sin haber sido un camino de rosas, hemos recorrido con mucha ilusión. Y ahí está, haciéndose un hueco en la excelencia matemática internacional, y respetado porque se hizo en pocos años lo que otros llevaban haciendo décadas.

Estos dos últimos años han sido muy complejos en la vida del ICMAT, quizás porque su crecimiento espectacular y su irrupción repentina despertó recelos en su entorno. Sin embargo, estos logros no vinieron de la nada, sino de un trabajo de muchos años lleno de esfuerzo y estrategia, atrayendo a los mejores investigadores y tratando de poner en marcha un equipo de gestión. No es de extrañar que en cuanto se le dio cancha, el Instituto floreciera de una manera sorprendente y fuera capaz de ser el primero del CSIC en conseguir el galardón Severo Ochoa en la primera convocatoria.

Lo que sea el ICMAT en los próximos años va a depender del compromiso de sus investigadores, de la ausencia de sectarismos, del respeto de cada investigador por el trabajo de sus colegas, de que los órganos individuales y colectivos del Instituto trabajen adecuadamente, y de que las personas que tengan una responsabilidad directiva comprendan que antes que su trabajo personal está el colectivo. Si esto se da, el ICMAT podrá seguir su trayectoria de éxitos, con un instituto en el que la investigación básica conviva con las aplicaciones y la transferencia. Es lo que yo espero y demando de todos.



## REPORTAJE: Repaso de las líneas de investigación del ICMAT

## Ocho líneas, nueve grupos y diez años

Imagen: ICMAT



Aunque el ICMAT se fundó en 2007, el edificio en el que se ubica el centro se inauguró en el campus de Cantoblanco en 2011.

**Se cumplen diez años desde que se firmara el convenio de creación del Instituto de Ciencias Matemáticas (ICMAT). Fue el 29 de octubre de 2007, siguiendo las recomendaciones de un comité científico internacional con el propósito de reforzar la investigación matemática en el CSIC. Una de las apuestas del Instituto fue “establecer prioridades teniendo en cuenta áreas que en España están poco desarrolladas, como la teoría de números, la teoría de grupos, la combinatoria, y otras; con el objetivo de fortalecerlas”, explica Manuel de León, fundador y actual director del centro.**

**Elvira del Pozo.** De las tres líneas que se establecieron hace una década, cuando arrancó el ICMAT, se ha pasado a [ocho](#), y en ellas trabajan los 138 investigadores del centro, registrados en [nueve grupos](#) del CSIC, que están siendo evaluados en estos meses. Parece que esta estrategia ha funcionado porque el Instituto no sólo publica anualmente más de un centenar de artículos de gran impacto y con una cantidad muy alta de citas, sino que ha obtenido y renovado el galardón de excelencia Severo Ochoa en dos ocasiones, y nueve de sus investigadores han sido distinguidos con diez becas del ERC, “liderando los centros españoles en matemáticas y situándose entre los mejores resultados en Europa”, cuenta De León. Conozcamos el desarrollo de estas líneas de investigación, los hitos que han alcanzado y los grandes problemas que todavía tienen por delante.

#### [LINEA 1: Geometría algebraica y física matemática](#)

Esta área, que coincide con el [Grupo 4](#) liderado por [Óscar García-Prada](#), es un campo que hoy en día tiene importantes conexiones con la teoría de cuerdas y la física de partículas. Entre los resultados más importantes obtenidos recientemente por el grupo, cabe mencionar la obtención de nuevos espacios de Teichmüller generalizados. También son destacables los resultados en el desarrollo de la teoría de Kaehler-Yang-Mills, introducida por miembros del Grupo, y que combina la teoría de Yang-Mills de Donaldson-Uhlenbeck-Yau con la teoría de Yau-Tian-Donaldson de métricas de Kaehler con curvatura escalar constante. Además, recientemente se ha probado la existencia

de soluciones simétricas para estas ecuaciones, “que admiten una interpretación física relacionada con las cuerdas cósmicas”, explica García-Prada.

[LÍNEA 2: Geometría diferencial, geometría simpléctica y mecánica geométrica](#)

Esta área la desarrolla el [Grupo 5](#), coordinado por [Daniel Peralta](#) – receptor de una Starting Grant del European Research Council (ERC) y ponente plenario en el Congreso Europeo de Matemáticas celebrado en Berlín en 2016- , y se estructura alrededor de cuatro grandes líneas de investigación: la topología diferencial y de contacto, la geometría Riemanniana, la teoría geométrica de las ecuaciones diferenciales y la mecánica geométrica y teoría de control. En estas líneas se investigan desde problemas fundamentales como la existencia de ciertas estructuras geométricas y sus propiedades topológicas, hasta cuestiones más aplicadas cuyo objetivo es entender la evolución de los sistemas mecánicos y cómo controlarlos. Las conexiones con la física teórica abarcan, desde la teoría de la Relatividad General de Einstein, hasta la mecánica celeste reformulada por Poincaré, pasando por la geometría de los sistemas cuánticos. Entre los resultados de mayor impacto obtenidos por este grupo está la resolución de las conjeturas de Arnold y de Lord Kelvin, en hidrodinámica topológica, por [Alberto Enciso](#) y [Daniel Peralta](#); la prueba de la conjetura de Chern, en topología de contacto, por [Roger Casals](#) y [Francisco Presas](#); y el desarrollo de la teoría geométrica de Hamilton-Jacobi, por [Manuel de León](#) y [David Martín](#).

[LÍNEA 3: Análisis matemático, ecuaciones diferenciales y aplicaciones](#)

En la actualidad, esta área está separada en dos grandes líneas, cada una gestionada por un grupo de investigación del Instituto. Por una parte, está el Análisis Matemático, objeto de estudio del [Grupo 1](#). Goza de tres proyectos ERC de distintas ramas de Análisis Armónico, liderados por [José María Martell](#), [Javier Parcet](#) y [Keith Rogers](#). En el proyecto ERC de Martell, vigente en la actualidad, uno de los objetivos principales es el estudio de ciertos problemas de difusión en cuerpos irregulares usando técnicas del análisis armónico. Parcet ha sido reconocido con el Premio de Investigación José Luis Rubio de Francia, en 2005, y lideró un proyecto ERC cuyo tema principal de trabajo fue el estudio de la teoría de Calderón-Zygmund no-conmutativa. Rogers, quien también dirigió un proyecto ERC, estudia temas más clásicos de Análisis de Fourier, además de sus aplicaciones a problemas inversos. Por otra parte, están las Ecuaciones Diferenciales y Aplicaciones, en el que se centra el [Grupo 2](#), con [Diego Córdoba](#) al frente, con otro ERC y premio Miguel Catalán de la Comunidad de Madrid. El objetivo es estudiar las ecuaciones en derivadas parciales y sus aplicaciones en la mecánica de fluidos. Uno de sus resultados de mayor impacto es la [construcción del modelo matemático](#) que explica cómo rompen las olas - llamadas singu-

laridades de tipo *splash*-. En este grupo se cultivan también los sistemas dinámicos en dimensión infinita, liderados por [José M. Arrieta](#) y [Aníbal Rodríguez-Bernal](#).

[LINEA 4: Teoría de números](#)

Esta amplia rama de las matemáticas es abordada por el [Grupo 9](#), con [José Ignacio Burgos](#) a la cabeza. Trabaja en varios campos, entre los que destaca la teoría algebraica que explora conexiones con la teoría de números, donde hay problemas abiertos notables como la conjetura de Birch y Swinnerton-Dyer, que es uno de los siete problemas del milenio. Uno de los resultados de mayor impacto fue la solución del problema de Sidón de Javier Cilleruelo y Carlos Vinuesa. También, la resolución del problema del matemático John Nash en teoría de singularidades, por Javier Fernández de Bobadilla y María Pe.

[LÍNEA 5: Teoría de grupos](#)

El [Grupo 8](#) de teoría de grupos, cuyo investigador principal es [Andrei Jaikin](#), se centra en diferentes propiedades combinatorias, geométricas y algebraicas de grupos finitos e infinitos, haciendo especial hincapié en la teoría de grupos asintóticos. Su investigación se centra en diferentes propiedades combinatorias, geométricas y algebraicas de grupos finitos e infinitos. Se hace especial énfasis en la teoría de grupos asintóticos (por ejemplo, invariantes de L2, funciones de crecimiento), la teoría de grupos geométricos (como los grupos curvados no positivos, grupos de clases de mapeo), los grupos profinitos y la teoría de la representación.

[LINEA 6: Estadística, probabilidad e investigación operativa \(SPOR\)](#)

El [Grupo 3](#), denominado grupo SPOR (Statistics, Probability and Operations Research), está formado por investigadores del ICMAT interesados en estimular la investigación multidisciplinar y explorar nuevos contextos para la aplicación de Probabilidad, Ciencia de Datos, Aprendizaje Automático (*Machine Learning*), Estadística e Investigación Operativa para modelizar procesos, hacer predicciones y desarrollar mecanismos de apoyo a la toma de decisiones en problemas complejos, incluyendo su uso en el ámbito industrial. Destacan la cooperación internacional e industrial y la formación doctoral y postdoctoral competitiva, la organización de eventos internacionales de investigación permanente y las actividades de difusión. El grupo SPOR mantiene proyectos con empresas e instituciones públicas en el ámbito de la ciberseguridad, detección de fraude, marketing de precisión, diagnóstico médico y procesado de lenguaje natural, entre otros, que se canalizan a través del [Datalab](#), una unidad de apoyo a la investigación en ciencia de datos, y a la [Cátedra AXA](#). En la actualidad, el grupo está formado por tres investigadores de plantilla ([David Ríos](#), [Antonio Gómez-Corral](#) y [David Gómez-Ullate](#)), un investigador postdoctoral y siete investigadores predoctorales.

Imagen: ICMAT



José María Martell, Javier Parcet y Diego Córdoba (de izquierda a derecha) son tres de los investigadores del ICMAT que han sido distinguidos con proyectos ERC.

[LINEA 7: Matemáticas e información cuántica: fundamentos y aplicaciones](#)

El [Grupo 6](#), con [David Pérez-García](#) a la cabeza, trabaja en una amplia variedad de problemas matemáticos que subyacen en las tecnologías cuánticas. A nivel fundamental, el objetivo es caracterizar diversos aspectos de la estructura matemática que hay detrás de la mecánica cuántica. En concreto, esto pasa por aplicar técnicas de análisis funcional, entre otras. A nivel de aplicaciones, existen grandes retos muy definidos, como, por ejemplo, construir ordenadores cuánticos cada vez más grandes que vayan más allá de las capacidades de cómputo de los actuales, o implementar en la práctica los protocolos de criptografía cuántica cuya seguridad ya está demostrada matemáticamente. Esto permitiría tener una comunicación de seguridad inviolable: todo un hito tecnológico.

[LINEA 8: Modelado matemático y simulación](#)

El [Grupo 7](#) desarrolla la línea de modelado matemático y simulación, con [Marco Antonio Fontelos](#), [Ana M. Mancho](#) y [Carlos Escudero](#) a la cabeza. Sus investigadores resuelven problemas con incidencia en áreas de las ciencias diversas como la ingeniería, la biología, la química y las ciencias de la tierra mediante el empleo de avanzadas herramientas matemáticas y de computación. Su actividad se plasma en colaboraciones con grupos multidisciplinares que dan lugar a publicaciones especializadas de las ciencias objeto de estudio, así como trabajos más teóricos que se plasman en revistas clásicas de matemática aplicada. Importantes resultados obtenidos por los miembros de este grupo han sido el desarrollo de fórmulas para el estudio del impacto de gotas en sólidos, que han tenido uso en los contextos más diversos como la impresión de circuitos mediante impresoras de chorro, el estudio de procesos de erosión de monumentos y en la investigación médica forense, pues permiten deducir detalles de un crimen por la forma y tamaño de gotas de sangre. Otro de

sus resultados son el desarrollo de herramientas propias de los sistemas dinámicos que han ayudado a los servicios de emergencia en el control y seguimiento del vertido de crudo producido tras el hundimiento del pesquero Oleg Naydenov en las costas de Gran Canaria y que permiten abordar con herramientas nuevas la teoría de los estados de transición en química.



Imagen: ICMAT

Los miembros más jóvenes del grupo SPOR fueron protagonistas de la Noche de los Investigadores del ICMAT en 2017. De izquierda a derecha: Roi Naveiro, Alberto Redondo, Simón Rodríguez, Víctor Gallego y David Gómez-Ullate.

Imagen: ICMAT



En 2017 el ICMAT acogió un congreso científico en celebración del cumpleaños del matemático Nigel Hitchin (Universidad de Oxford), organizado por Óscar García-Prada.

ENTREVISTA: Yakov Sinai, profesor de la Universidad de Princeton, Premio Abel 2014 y miembro de la Comisión Científica Externa del ICMAT

“Mucha gente cree que la teoría del caos debe estar conectada con la turbulencia, pero yo no estoy seguro”



Sinai, quien recibió en 2014 el Premio Abel, forma parte de la Comisión Científica Externa del ICMAT.

**Yakov Sinai (1935, Rusia), profesor en el Departamento de Matemáticas de la Universidad de Princeton (EE. UU.), es uno de los miembros de la Comisión Científica Externa del ICMAT. Experto en la teoría de sistemas dinámicos, física matemática y teoría de la probabilidad, ha sido profesor de la Universidad Estatal de Moscú y del Instituto Landau de Física Teórica (1971-1993) de Rusia. En 2014 fue galardonado con el Premio Abel por sus contribuciones fundamentales en sistemas dinámicos, teoría ergódica y física matemática. Entre otros, ha recibido los siguientes premios: la Medalla Boltzmann (1986) de la International Union of Pure and Applied Physics (IUPAP), el Premio Dannie Heineman (1990) de la American Physical Society, el Premio Markov (1990) de la Academia de Ciencias Rusa, el Premio Dirac (1992) del ICTP de Trieste, el Premio Wolf (1997) de la Fundación Wolf de Israel, el Premio Moser (2001) de la SIAM, el Premio Nemmers (2002) de la Northwestern University, el Premio Lagrange (2008) del ISI en Turín, el Premio Henri Poincaré Prize (2009) de la IAMP y el premio Leroy P. Steele (2013) de la AMS. Es miembro de la Academia Americana de Artes y Ciencias (1983), la Academia de Ciencias Rusa (1991), la Sociedad Matemática de Londres (1992), la Academia de Ciencias Húngara (1993), la Academia Nacional de Ciencias de EE. UU. (1999), la Academia de Ciencias Brasileña (2000) y de la Academia de Ciencias Polaca (2009), entre otras.**

**Ágata Timón García-Longoria. ¿Cuál es la relación entre caos y aleatoriedad?**

La aleatoriedad es el concepto principal de la teoría de la probabilidad y está relacionada con los juegos, el ruido, etc. El caos es una propiedad de la dinámica que sucede en situaciones en las que no hay aleatoriedad en absoluto. La principal propiedad del caos es que aparece en situaciones totalmente deterministas.

**Las matemáticas tratan de encontrar orden y estructura, ¿cómo enfrentan la aleatoriedad y el caos?**

La teoría de la probabilidad es la parte de la matemática que estudia estos fenómenos. El caos se estudia dentro de la dinámica.

**¿Podría explicar el concepto de entropía?**

Tiene diferentes significados. En física estadística, se relaciona con el tamaño del sistema estudiado. En teoría del caos, tiene que ver con ciertas condiciones de las ecuaciones del movimiento deterministas. El concepto de entropía en dinámica necesita una inestabilidad del movimiento. La entropía puede ser positiva solo si la dinámica es inestable cuando puntos muy cercanos divergen entre ellos exponencialmente rápido. El valor de la entropía describe el crecimiento de esta inestabilidad.

**Usted, junto a Andréi Kolmogorov, fue uno de los matemáticos que formalizó el concepto de caos. ¿El trabajo de Claude Shannon de 1940 le sirvió de inspiración?**

Sí, mucho. En particular, el concepto de entropía en dinámica está basado en la idea de entropía de Shannon en teoría de la información.

“El concepto de entropía en dinámica está basado en la idea de entropía de Shannon en teoría de la información”

**¿Qué implicaciones tienen estas ideas con nuestra concepción de la realidad?**

Mucha gente cree que la teoría del caos debe estar conectada con la turbulencia. Yo no estoy seguro.

**Más de 50 años después, sigue siendo un campo muy desconocido. ¿Cuáles cree que son los grandes retos?**

El principal reto del campo es encontrar diversas clases de sistemas con entropía positiva. Un ejemplo es el llamado mapa estándar, propuesto por los físicos Chirikov y Taylor. Algunas personas dicen que este caso tan complicado es el problema del siglo XXII.

**Uno de sus modelos para estudiar el comportamiento ergódico es el llamado billar de Sinai, que ideó en 1960. ¿Podría explicar esta idea?**

Después de que Kolmogorov propusiera el concepto de entropía mucha gente empezó a buscar clases de sistemas con entropía positiva. El primer paso lo dio el físico ruso N. S. Krylov, quien descubrió la analogía de sistemas con colisiones elásticas y los llamados sistemas de Anosov, que suponen uno de los mejores ejemplos de la modelización del caos. Mi amigo Arnold sugirió otro ejemplo de este tipo. Otro ejemplo destacable, que ahora se llama el estadio de Bunimovich, lo dio L. A. Bunimovich, y es muy popular en la teoría del caos cuántico.

**¿Podría poner un ejemplo?**

Los billares que yo estudié se llaman billares hiperbólicos. Un ejemplo típico es un cuadrado en el que se ha eliminado un cír-

culo en el centro. Este caso aparece en muchos problemas de caos cuántico. La inestabilidad se puede ver cuando se considera un haz de luz que sale desde un punto y el tamaño del rayo crece exponencialmente con el tiempo.

*“Los momentos más importantes de mi carrera fueron los periodos en los que no era capaz de resolver problemas en los que llevaba trabajando mucho tiempo”*

**¿Cuáles diría que han sido los momentos más importantes de su carrera?**

Los periodos en los que no era capaz de resolver problemas en los que llevaba trabajando mucho tiempo. Hubo muchos casos de ese tipo.

CRÓNICA: Heidelberg Laureate Forum 2017

Quinto aniversario del Heidelberg Laureate Forum

Imagen: hiff-mueck\_08



La ceremonia de inauguración de este quinto Heidelberg Forum estuvo amenizada por el cuarteto de viento 'Balanced Action'.

**El pasado mes de septiembre, la ciudad alemana de Heidelberg reunió por quinto año consecutivo a jóvenes investigadores del mundo de la computación y las matemáticas con científicos como Stephen Smale, Martin Hairer, Stephen Cook, Shigefumi Mori y Michael Atiyah. Entre conferencias magistrales, mesas redondas y eventos sociales, con la computación cuántica como tema central, los asistentes pudieron intercambiar impresiones y descubrir los últimos avances en las dos disciplinas.**

**Laura Moreno Iraola.** Klaus Tschira (1940-2015), físico alemán y cofundador de la empresa informática [SAP](#) (Sistemas, Aplicaciones y Productos en Procesamiento de datos), era un gran admirador del [foro Lindau](#), una reunión anual entre los premios Nobel y los talentos emergentes en las diversas disciplinas. En estos galardones no hay una categoría de matemáticas y computación, por lo que los investigadores de estos campos se quedaban fuera del encuentro. Ante ello, Tschira se planteó adaptar esta cita, con el apoyo del [Heidelberg Institute for Theoretical Studies](#) (HITS) y el [Klaus Tschira Stiftung](#). Así, en 2013 se puso en marcha el [Heidelberg Laureate Forum](#) (HLF), organizado por su propia fundación y patrocinado por el HITS y la [Universidad de Heidelberg](#).

“Estar en contacto con los ganadores de los premios más importantes que pueden ser concedidos en estos campos es un sueño hecho realidad”

Desde entonces, la ciudad alemana acoge durante la última semana de septiembre a científicos reconocidos con la [Medalla Fields](#), el [Premio Nevanlinna](#), el [Premio Abel](#), el [Premio ACM Turing](#) y el [ACM Premio en Computación](#), y a estudiantes e investigadores pre y postdoctorales procedentes de universidades de los cinco continentes. Para la mayoría de ellos “estar en contacto con los ganadores de los premios más importantes que pueden ser concedidos en el campo de las matemáticas y la computación es un sueño hecho realidad”, como comenta Arti Ramesh, investigadora postdoctoral en computación en la Universidad Estatal de Nueva York (EE. UU.) y una de los 200 jóvenes elegidos por el Comité Científico para asistir a la [quinta edición del HLF](#), celebrada del 24 al 29 de septiembre de 2017.

En esta ocasión, el foro contó con laureados como Sir Michael Atiyah (Medallista Fields 1966 y Premio Abel 2004), Vinton Cerf (ACM A.M. Turing Award 2004), Stephen Cook (ACM A.M. Turing Award 1982), Jeffrey A. Dean (ACM Prize in Computing 2012), Martin Hairer (Medalla Fields 2014), Leslie Lamport (ACM A.M. Turing Award 2013) o Stephen Smale (Medalla Fields 1966), [entre otros](#). “Aunque siempre defenderé que los estudiantes han de ser independientes y tratar de formarse por su cuenta, no solo en ciencia, también necesitan que alguien les enseñe, y ese es el papel que tenemos que cumplir los más experimentados, por eso estamos en este HLF”, comentaba en rueda de prensa este último. El único *pero* de la reunión fueron las cancelaciones de [Barbara Liskov](#) (ACM A.M. Turing Award 2008), única mujer laureada, y [Vladimir Voevodsky](#) (Medalla Fields 2002), ambos por problemas de salud. De hecho, [Voevodsky fallecía](#) tan solo un día después de finalizar el HLF.

“Gracias a las veces que he explicado mi problema a tanta gente, tengo más claro por dónde seguir a partir de ahora”

La [ceremonia de inauguración](#), amenizada por el cuarteto de viento ‘Balanced Action’, estuvo presidida, entre otros, por Theresia Bauer, ministra alemana de ciencias, investigación y artes; Bernhard Eitel, presidente de la Universidad de Heidelberg; Eckart Würzner, alcalde de la ciudad; y Shigefumi Mori, Medalla Fields 1990 y presidente de la Unión Matemática Internacional (IMU). La computación cuántica fue el tema central (*hot topic*) del programa más completo que ha tenido el HLF hasta la fecha, según corroboraron miembros de la organización. En este, se com-



Patricia Arias, investigadora postdoctoral en la Universidad Carlos III de Madrid y Natalia Díaz Rodríguez, investigadora postdoctoral en ENSTA ParisTech (Francia), fueron dos de las españolas asistentes al congreso.

binaron las actividades científicas (charlas, *workshops* y paneles de discusión) con las sociales, todas ellas pensadas para favorecer la interacción y el acercamiento entre los investigadores. “Estoy muy agradecida a los laureados porque ponen mucho interés en nosotros; nos escuchan, nos dan consejos y nos comentan su perspectiva acerca de nuestro trabajo”, explicaba Arpita Biswas, estudiante predoctoral en el [Indian Institute of Science](#) de la India. “En general, gracias a las veces que he explicado mi problema a tanta gente tengo más claro por dónde seguir a partir de ahora”, continuaba.

### La divulgación también tuvo su hueco gracias a la exposición “Math $\Leftrightarrow$ Art”, abierta a todo el público

El congreso contó también con participación española. “La mejor experiencia en este HLF ha sido organizar un *workshop*, junto a un investigador postdoctoral del Imperial College, Antonio Campello, basado en fundamentos matemáticos para la ciberseguridad, en concreto, en la manera de mejorar la seguridad y privacidad a partir de algoritmos que puedan ser resistentes en el contexto de la computación cuántica. Tuvimos la suerte de contar con [Vinton Cerf](#) como mentor y con [Whitfield Diffie](#) para tratar temas de ciberseguridad”, explicaba [Patricia Arias](#), investigadora postdoctoral en la Universidad Carlos III de Madrid.

Por su parte, [Natalia Díaz Rodríguez](#), investigadora postdoctoral en [ENSTA ParisTech](#) (Francia), y que acudía por segunda vez al congreso (las bases indican que puede hacerse una vez como predoctoral y otra como postdoctoral), organizó en Heidelberg su primer *workshop*. “Al principio pensaba que iba a ser un desastre porque me cambiaron el título y atraje a gente muy heterogénea, pero quizá, así, me sirvió de más ayuda porque vi cómo se podía abordar el tema [*machine learning* y la interacción entre humanos y máquinas, a partir de una perspectiva matemática, robótica y psicológica] desde diferentes puntos, tuve que improvisar...”, indicaba.

Para el madrileño Ismael Sierra esta era una de las primeras tomas de contacto con el mundo de la investigación. Sierra, que estudia matemáticas en la [Universidad de Cambridge](#) (Reino Unido), resaltaba por ser el participante más joven de esta edición, con 19 años. Fue invitado por Michael Atiyah, a quien conoció casualmente desayunando en su universidad. “Vino a dar unas charlas y me lo encontré en la cafetería, empezamos a hablar y desde entonces mantenemos contacto. Es bastante frecuente que me proponga ir a eventos relacionados con las matemáticas”, confesaba.

La divulgación, asimismo, tuvo su hueco en el Heidelberg Laureate Forum con la exposición abierta a todo el público “[Math  \$\Leftrightarrow\$  Art](#)”, desarrollada por el artista y programador [Aldo Spizzichino](#), quien falleció el pasado mes de junio durante la fase de reproducción de esta muestra. Las obras eran el resultado final del proceso que Spizzichino desarrollaba con sus propios *softwares*, y que eran diseñadas a partir de elementos y demostraciones matemáticas como fractales, -algunos creados mediante agregación limitada por difusión (DLA)-, teorema de Pitágoras y principio de Arquímedes, sólidos y superficies exóticos, diferentes teselaciones, transformaciones hiperbólicas o el modelo autómatas celular, entre otros. [Piergiorgio Odifreddi](#), matemático, ensayista y divulgador italiano, ofreció a propósito de esta muestra una charla sobre la relación a lo largo de la historia entre arte, matemáticas y, más recientemente, computación, utilizada como instrumento del artista para conseguir numerosas posibilidades en sus obras.

### El madrileño Ismael Sierra resaltaba por ser el participante más joven de esta edición

El Heidelberg Laureate Forum 2017 concluyó en el castillo, un enclave característico de la ciudad que volverá a tener su protagonismo en la sexta edición, prevista del 23 al 28 de septiembre del próximo año. El [plazo para solicitar la participación](#) ya está abierto.



Imagen: ICMAT



Imagen: ICMAT

Durante el foro se celebró la exposición abierta a todo el público “[Math  \$\Leftrightarrow\$  Art](#)”, desarrollada por el artista y programador Aldo Spizzichino.

## “Arte y ciencia son respuestas complementarias al universo”

Imagen: ICMAT



Mario Livio estudió matemáticas, hizo investigación en astrofísica, y ha escrito numerosos libros de divulgación de éxito mundial.

**En sus libros dirigidos al público general, Mario Livio (1945, Bucarest, Rumanía) se empeña en presentar la matemática como parte de la cultura. Muestra sus relaciones con el arte, la naturaleza y la filosofía en títulos como *¿Es dios un matemático?*, *La proporción áurea o La ecuación jamás resuelta*. A través de este último, se sumergió en la vida de Evariste Galois, al que considera el científico más romántico de la historia. Estudiante de matemáticas, pero astrofísico de carrera (aunque afirma utilizar muchas matemáticas en su trabajo), fue uno de los invitados del curso de verano de la Universidad Complutense de Madrid “De las matemáticas a la sociedad”, que tuvo lugar el pasado mes de julio en El Escorial, y en el que colaboró el ICMAT.**

**Ágata Timón García-Longoria. En sus libros ha escrito sobre Pi, la proporción áurea... si tuviera que escoger, ¿cuál diría que es el concepto matemático más fascinante?**

Lo más fascinante para mí es el tema central del libro *¿Es dios matemático?*, que no es una noción concreta, sino el hecho de que podemos explicar el universo utilizando las matemáticas.

**¿Cree que todo puede explicarse a través de las matemáticas?**

Funcionan mejor para describir cosas fundamentales, como las leyes básicas de la naturaleza. No funcionarían tan bien si quisiéramos describir todo lo que está pasando en esta habitación en este momento. Son sistemas complejos, con un gran número de átomos. Tenemos modelos matemáticos en la biología pero no tenemos una teoría matemática de la biología.

“Podemos explicar el universo utilizando las matemáticas”

**Esa relación entre la matemática y la naturaleza, ¿de dónde cree que viene?**

Las matemáticas son, de cierta forma, un lenguaje. Necesitamos un lenguaje para describir la naturaleza, y las matemáticas son el más efectivo. Pero es algo más que eso, ajustamos nuestras matemáticas al tipo de problema que estudiamos, no las usamos a ciegas. Ese es parte de su éxito.

**Y estas matemáticas, ¿están ahí o las creamos nosotros?**

Esta es una pregunta dura: ¿las matemáticas son inventadas o las descubrimos? Te puedo dar mi opinión personal pero habrá mucha gente que no esté de acuerdo conmigo. Yo creo que las

matemáticas son una combinación muy intrincada de invenciones y descubrimientos. No digo esto porque no puedo decidir entre las dos opciones, sino porque es lo que pienso realmente. Inventamos los conceptos, por ejemplo, creamos la raíz cuadrada de menos uno, y la llamamos  $i$ , el número imaginario. Después descubrimos todo tipo de teoremas que obedecen los números imaginarios. Una vez inventamos el concepto, no había otra opción para los teoremas, nos fueron impuestos. Así que yo creo que las matemáticas son una combinación: inventamos los conceptos y descubrimos las relaciones entre ellos.

“Ajustamos nuestras matemáticas al tipo de problema que estudiamos, no las usamos a ciegas”

**Entonces, si hubiéramos inventado otros conceptos como base, ¿tendríamos una teoría totalmente diferente de las matemáticas?**

Sí, unas matemáticas totalmente diferentes. Por ejemplo, podríamos haber empezado con reglas simples, como las que usan los ordenadores. El matemático Stephen Wolfram mostró que se pueden generar prácticamente todas nuestras matemáticas partiendo de un conjunto de conceptos diferente.

**O como sucede con la geometría euclidiana o no euclidiana, que se obtienen partiendo de unos u otros axiomas. Pero entonces, ¿escoger una opción o cualquier otra es una mera cuestión de azar?**

Sí, creo que empezamos con la geometría euclidiana por dos razones, principalmente. La primera viene dada por nuestro

sistema de percepción: somos muy buenos distinguiendo una recta y una circunferencia. Por otro lado, vivimos en un planeta con una fuerza de la gravedad muy floja, por lo que nuestro espacio está muy poco curvado, casi parece plano. Si hubiéramos vivido en un lugar con una gravedad fuerte, en el que la luz viajase por espacios curvos, es posible que hubiéramos creado primero la geometría no euclidiana.

**“Las matemáticas son una combinación muy intrincada de invenciones y descubrimientos”**

**Al final las matemáticas también acaban configurando la manera en la que pensamos, ¿también cómo nos expresamos? ¿Cuál cree que es la relación entre matemáticas y arte?**

A mí me gusta pensar, de forma más general, entre arte y ciencia. Además de ser científico, soy un fanático del arte visual. Tengo cientos de libros de arte y procuro visitar exposiciones allá donde voy. Pero lo cierto es que no creo que las influencias entre las dos disciplinas sean muy fuertes. La gente dice que sí, que Einstein y Picasso están interrelacionados, pero a mí me parece algo forzado, honestamente. Lo que encuentro interesante es que ambas cosas, el arte y la ciencia, son intentos de hacer lo mismo, pero con diferentes perspectivas. Los científicos tratan de explicar el universo, intentan entender los fenómenos naturales, encontrar una descripción matemática y demás. Los artistas dan una respuesta emocional al universo que los rodea. Así que los dos están respondiendo al universo en el que vivimos, pero de manera complementaria.

**“El científico nunca ha de comunicar desde arriba. Siempre se ha de hablar al nivel de los ojos de la gente”**

**Usted, además de ser científico, es comunicador. ¿Cuál diría que es su principal objetivo como comunicador?**

Me gustaría que todo el mundo pudiera ver la ciencia como una parte integral de la cultura, no como algo externo. No puede ser que todo el mundo tenga que leer a Shakespeare o a Cervantes, pero que puedan no saber que existen leyes fundamentales de la naturaleza. Eso también es parte de la cultura e incluso es más importante, diría yo. Es hermoso leer un poema de Pablo Neruda, pero al final, más allá de enriquecer tu alma, no te ayuda particularmente. Sin embargo, tanto la teoría Especial como General de la Relatividad de Einstein se emplean en el GPS de mi teléfono, lo que las hace directamente aplicables a mi vida. No hace falta que todo el mundo sea científico, pero todos hemos de entender que la ciencia es una parte de nuestra vida de la cultura. Debemos tener esto claro nosotros y también las personas que toman las decisiones a nivel político. Tenemos problemas muy graves (los recursos alimenticios, el cambio climático, etc.) que se pueden analizar desde el punto de vista de la ciencia, y su papel es clave.

**¿Cómo pueden los científicos ayudar a llevar su disciplina al gran público?**

Lo primero es no comunicar desde arriba. Siempre se ha de hablar al nivel de los ojos, al nivel desde el que la gente te

puede entender. El que no es capaz de explicar en términos sencillos la esencia de lo que hace, de manera que una persona de fuera de su disciplina pueda entenderlo, es que realmente no entiende muy bien lo que hace. Tienes que ser capaz de dar una idea básica de tu investigación. También creo que es importante enfatizar la noción de la ciencia como parte de la cultura, más que como potencial aplicación. Las aplicaciones son importantes, pero no son el motivo por el que hacemos ciencia; la hacemos porque tenemos curiosidad. Cuando Michael Faraday, el padre del electromagnetismo, estaba desarrollando sus teorías, un funcionario le preguntó: “Mr. Faraday, pero esto, ¿para qué sirve?”. A lo que él contestó: “Aún no lo sé, pero pronto podréis recaudar impuestos por ello.” Ahora no podemos vivir sin el electromagnetismo, pero Faraday no lo hizo por eso. Hay ciencia aplicada y ciencia aún por aplicar. Prácticamente cualquier campo de ciencia básica se acaba convirtiendo también en ciencia aplicada, pero no es el motivo por el que investigamos. Deberíamos poder comunicar esa curiosidad.

**“No creo que la influencia entre arte y ciencia sea muy fuerte”**

**Su último libro trata precisamente de eso, de la curiosidad humana y sus mecanismos. ¿Cómo funciona?**

Es más complicado de lo que yo pensaba cuando empecé a investigar sobre el tema. No soy psicólogo ni neurocientífico, así que he tenido que investigar mucho y hablar con muchos expertos para poder entender estos mecanismos de la mente. Resulta que hay diferentes tipos de curiosidad: la que alimentamos cuando vemos algo que nos sorprende, que se llama curiosidad perceptual, y la que sentimos cuando investigamos sobre un tema de manera profunda, que es la curiosidad epistemológica. Estos dos tipos de curiosidad se generan en partes diferentes de nuestro cerebro. Si hubiéramos sabido cuán distintas son, posiblemente no hubiéramos usado la misma palabra para las dos. Ahora estamos atascados en esa palabra, y tenemos que añadir un adjetivo.

**¿Las sentimos de manera diferente?**

Sí, mucho. La curiosidad perceptual es algo molesta, mientras que la otra es placentera, anticipamos el premio.

**“Es importante enfatizar la idea de la ciencia como parte de la cultura, más que como potencial aplicación”**

**Pero también tienen cosas en común, claro.**

Sí, son mecanismos evolutivos. Entender la relación entre causa y efecto fue importante para la supervivencia.

**Cree que es algo inherente de los humanos, ¿podríamos hacer máquinas que tengan curiosidad?**

Si la conciencia es una propiedad emergente de la disposición de nuestro cerebro, entonces es posible que la curiosidad también.



Patricia realiza el doctorado en fundamentos matemáticos de la mecánica cuántica en el ICMAT.

**Patricia Contreras (Madrid, 1992)** realiza el doctorado en fundamentos matemáticos de la mecánica cuántica bajo la dirección de **Julio de Vicente (UC3M)** y de **Carlos Palazuelos (ICMAT-UCM)**. Desde hace unos meses, tiene una beca como investigadora predoctoral en el ICMAT, donde estudia la estructura matemática de los juegos no locales y las desigualdades de Bell. Además, colabora con **Renato Renner, del Instituto de Física Teórica de Zúrich (Suiza)**, con quien trata de resolver problemas de la filosofía de la mecánica cuántica.

**Campo de investigación:**

Mecánica cuántica, estructura matemática de los juegos no locales, desigualdades de Bell y filosofía de la mecánica cuántica.

## SHE DOES MATHS: Patricia Contreras Tejada

**Elvira del Pozo.** ¿Qué probabilidad hay de que una persona, al tirar un dado obtenga un tres? Las leyes clásicas de la probabilidad dicen que es un sexto. ¿Y si, después, otra persona lanza su dado en busca del tres? La probabilidad sería de un sexto también, porque lo que salga en un caso no condiciona el resultado del otro. Aunque en el mundo microscópico esto no funciona así: “Si esos dados fuesen muy pequeños, puede existir una correlación entre ambos sucesos, es decir, que según el valor que se obtenga en la primera tirada, sabremos con certeza qué saldrá al tirar el segundo”, explica entusiasmada [Patricia Contreras](#), investigadora predoctoral en el ICMAT y la Universidad Complutense de Madrid. Este es un ejemplo visual de lo que significa el entrelazamiento de partículas cuánticas, fenómeno sin equivalencia en la física clásica y que hace referencia a la capacidad que tienen de *comunicarse* entre sí, y que es objeto de estudio de su tesis, codirigida por [Carlos Palazuelos](#) (UCM-ICMAT) y [Julio de Vicente](#) (UC3M). Una de las cosas que quieren demostrar con su investigación es si, para ganar con certeza en un juego cooperativo, el entrelazamiento entre las dos partículas que cooperan siempre debe ser el mayor posible. “¿También con menor entrelazamiento se puede ganar?”, se pregunta.

Además, Contreras investiga sobre otro problema asociado a la mecánica cuántica, “campo que se puede describir matemáticamente en solo cuatro líneas de una pizarra, pero que, a la hora de traducir qué significa en palabras, salen resultados incoherentes”. Un ejemplo de la dificultad de traducir las ecuaciones de la cuántica aparece cuando queremos ver qué significa el *estado del sistema*. “Para sistemas *grandes* (mesas, sillas...), el

estado señala la probabilidad de que el sistema tenga una u otra propiedad (esta probabilidad podría representar nuestra ignorancia sobre las propiedades del sistema). En cambio, en sistemas *pequeños* (electrones, fotones...), no podemos hablar de probabilidades, sino que tenemos que considerar todas las propiedades que representa el estado a la vez para poder entender el comportamiento del sistema”, asegura Contreras. ¿Por qué este cambio de interpretación del estado? ¿Por qué se comporta el mundo de dos maneras diferentes, dependiendo sólo de su tamaño? ¿Por qué la frontera está donde está? Esto es de lo que trata el área de la filosofía de la mecánica cuántica en la que está trabajando junto con [Renato Renner](#), del Instituto de Física Teórica de Zúrich (Suiza). “¿Cómo se explica que personas distintas, en laboratorios diferentes, que realizan un experimento conjunto, extraigan cada una conclusiones que no tienen nada que ver?”.

“¿Cómo se explica que personas distintas, en laboratorios diferentes, que realizan un experimento conjunto, extraigan cada una conclusiones que no tienen nada que ver?”

Son muchas las preguntas que se agolpan en la cabeza de esta joven madrileña. Quizás, aparte de divertirse durante los próximos cuatro años de investigación que tiene por delante, resuelva algunas de las preguntas que se formuló mientras cursaba el máster en Filosofía de la Física del [Balliol College](#) (Universidad de Oxford) y que terminó hace un año.

ENTREVISTA: Victoria Ley, directora de la División de Coordinación, Evaluación y Seguimiento Científico y Técnico de la Agencia Estatal de Investigación

“Para nuestros gobernantes la ciencia no tiene el peso que debería para impulsar el desarrollo socioeconómico en España”

Imagen: Gonzalo Merat (Jot Down)



**Victoria Ley dirige la División de Coordinación, Evaluación y Seguimiento Científico y Técnico de la Agencia Estatal de Investigación. Previamente dirigió la Agencia Nacional de Evaluación y Prospectiva, dependiente de la Secretaría de Estado de Investigación. Antes de dedicarse a la gestión de la ciencia desarrolló una carrera de investigación como bióloga en diversas instituciones, desde el Instituto Pasteur de París al Departamento de Agricultura de EE. UU. Además, escribe ocasionalmente artículos sobre ciencia para público general, como [estos](#) en la revista *online* Jot Down. Pudimos entrevistarla, a través de correo electrónico, para conocer las claves de la evaluación científica en España.**

Victoria Ley desarrolló una carrera de investigación como bióloga antes de dedicarse a la gestión de la ciencia.

**Ágata Timón García-Longoria. ¿De qué se ocupa la División de Coordinación, Evaluación y Seguimiento Científico y Técnico de la Agencia Estatal de Investigación?**

En esta División se realiza la evaluación científico-técnica de todas las solicitudes de financiación y de recursos humanos que se gestionan en la Agencia Estatal de Investigación (AEI), que son más de 25 000 al año. Además, se lleva a cabo el seguimiento de las actividades que han recibido financiación. Toda esta labor se hace gracias a nuestros colaboradores científicos, que buscan los mejores evaluadores para cada solicitud, elaboran los informes y nos asesoran en muchos otros aspectos. Son esenciales para el funcionamiento de la Agencia. Por último, el sistema funciona con la colaboración de miles de investigadores, médicos y tecnólogos, que evalúan las solicitudes, y que son la base del proceso de evaluación. Por otra parte, al estar todas las convocatorias agrupadas, se facilita la coordinación entre ellas, haciendo el sistema más eficaz.

**¿Cuál es su estructura? ¿Está configurada por paneles temáticos?**

La estructura tiene una base funcional horizontal (evaluación, seguimiento, actividades internacionales, recursos humanos) y otra transversal de áreas científicas. De todas maneras, dado que la Agencia se creó hace solo un año, quedan aspectos que estamos reorganizando para mejorar el funcionamiento y la coordinación con las demás Divisiones.

**Respecto a la organización previa, ¿qué cambios ha supuesto la creación de la Agencia en materia de evaluación y seguimiento?**

Antes, la evaluación científico-técnica recaía fundamentalmente en la antigua ANEP (Agencia Nacional de Evaluación y Prospectiva), aunque no totalmente. Ahora, todas las actividades de evaluación y seguimiento se gestionan en la AEI. La idea es que la gestión sea más funcional y eficiente y, por supuesto, lo principal es que las decisiones de selección de proyectos y

personas sean lo más objetivas y justas. El objetivo es que se financien los mejores proyectos y grupos de investigación, los que hagan avanzar en el conocimiento, traspasar las fronteras, resolver problemas sociales, sanitarios, tecnológicos o medioambientales, y sean capaces de competir en el sistema científico internacional. La AEI tiene un papel fundamental en el avance de la ciencia en España y su posicionamiento científico con respecto a otros países.

**“Trabajar en investigación es fascinante y aunque es duro, tiene muchísimas recompensas. La felicidad de aprender, entender o responder preguntas es lo que engancha a los científicos”**

#### **¿Cuál diría entonces que es el objetivo de la AEI?**

El objetivo es seleccionar los mejores proyectos, institutos, infraestructuras e investigadores para que la calidad científica que se desarrolla en España tenga el mejor nivel de excelencia posible a pesar de la reducida financiación en comparación con otros países.

#### **¿Cuáles cree que son sus mayores aciertos de la AEI?**

El mayor acierto del sistema actual es algo que lleva funcionando desde hace años: la colaboración de la comunidad científica en los procesos de evaluación. Es una colaboración generosa y honesta, indispensable para que el sistema funcione. Durante todos estos años ha sido uno de los pilares del sistema y tenemos que estar agradecidos a todos los que han contribuido a ello. Los investigadores, en general, confían en este sistema de evaluación en el que participan todos, aportando independencia y objetividad a todo el proceso.

**“El objetivo es seleccionar los mejores proyectos para que la calidad científica que se desarrolla en España tenga el mejor nivel de excelencia posible, a pesar de la reducida financiación comparada con otros países”**

#### **¿Qué cree que se podría mejorar del sistema actual?**

Es necesario que la AEI tenga más financiación para poder gestionar la enorme cantidad de solicitudes que llegan y hacer un buen trabajo de seguimiento de los proyectos, personas y actividades que reciben financiación. El personal de la AEI es excelente, bien formado y vocacional, pero es claramente insuficiente para llevar a cabo estas tareas básicas y mucho menos para realizar estudios de tendencias, impacto y prospectiva. En los presupuestos generales no se ve que para nuestros gobernantes la ciencia tenga el peso que debe tener para impulsar el desarrollo socioeconómico en España, y tampoco la importancia de la AEI en el sistema.

Hay muchos otros aspectos de mejora en la AEI; uno muy importante sería tener contratos plurianuales, lo que le permitiría coordinar mucho mejor sus convocatorias y daría estabili-

dad al sistema de ciencia y tecnología, y sobre todo a los investigadores. Una mejor coordinación interna y un incremento de personal técnico permitiría realizar otras funciones importantes: reflexionar sobre lo que vemos en la División, el impacto de los proyectos financiados, análisis comparativos con otros países e implementar mejoras sugeridas por la comunidad científica, colaboradores y asesores, que actualmente no se pueden abordar por falta de personal y presupuesto.

**“Vale la pena dedicar el tiempo necesario para preparar una buena propuesta”**

#### **¿Cuáles diría que son las claves para tener éxito en una propuesta de investigación?**

La propuesta debe estar bien escrita y bien presentada. Es fundamental ponerse en el lugar del que va a leer el proyecto, que probablemente es otro investigador que trabaja en el mismo ámbito. Tiene que entender bien el proyecto, le tiene que resultar interesante, incluso entusiasmar la idea y los objetivos que pretenden conseguir, que deben suponer un avance científico real. Es importante leerse las bases de las convocatorias y los criterios de evaluación.

Vale la pena dedicar el tiempo necesario para preparar una buena propuesta, está en juego la financiación de varios años y se está solicitando dinero público. De todas maneras, en general, los buenos investigadores suelen escribir buenos artículos científicos con sus resultados, y los que escriben buenos artículos deben ser capaces de escribir bien los proyectos.

**“La oportunidad de trabajar en la ANEP me abrió puertas y mi visión sobre la ciencia”**

#### **Usted pasó de la investigación a la gestión de la ciencia, ¿cómo fue esta transición?**

Trabajar en investigación es fascinante y aunque es duro, tiene muchísimas recompensas. La felicidad de aprender, entender o responder preguntas es lo que engancha a los científicos. Para mí los años dedicados a la investigación han sido años fantásticos y me alegro de haber tenido la oportunidad de tener esta formación. Sin embargo, cuando trabajas como investigador, la interacción con investigadores de otros ámbitos es difícil; en el centro de investigación, en las reuniones, en los congresos, la gente con la que tratas trabaja en temas parecidos. A mí me encantaba trabajar en un laboratorio de investigación y dedicarme a mis proyectos sobre virología, sin embargo, tenía mucha curiosidad por saber lo que hacían otros investigadores, no solo en biología, sino sobre todo en ámbitos más alejados: literatura, ingeniería, historia, filosofía, física, etc. La oportunidad de trabajar en la ANEP me abrió puertas y mi visión sobre la ciencia. Es un lujo tratar con los mejores investigadores, que te comenten sus puntos de vista, enterarte de los avances científicos de todas las disciplinas y sentir que puedes contribuir a mejorar el sistema de ciencia de tu país.

## RESEÑA CIENTÍFICA: Modelos para predecir el tráfico

**Título original:** "Some general models of traffic flow in an isolated network".

**Autores:** Ángela Jiménez-Casas (Universidad Pontificia de Comillas),  
Aníbal Rodríguez-Bernal (Universidad Complutense de Madrid-ICMAT).

**Fuente:** *Mathematical Methods in the Applied Sciences*, Volume 40, Issue 11. Pages 3982–4000.

**Fecha publicación:** 30 de julio de 2017.

**Resumen:** En la actualidad, constantemente se desplazan objetos, bienes, suministros o información por redes de distribución. Esto incluye, por ejemplo, la comunicación a través de internet, el reparto de mercancías, el desplazamiento de vehículos, aviones... A pesar de lo diverso de estos ejemplos todos ellos se pueden aproximar, modelizar y tratar matemáticamente de forma casi unificada.

En el artículo "Some general models of traffic flow in an isolated network", Ángela Jiménez-Casas, investigadora de la Universidad Pontificia de Comillas (UPoC) y Aníbal Rodríguez-Bernal, profesor de la Universidad Complutense de Madrid (UCM) y miembro del ICMAT, describen estos procesos generales en los que se produce un transporte (o tráfico) en redes que conectan los centros emisores/receptores por medio de vías de transporte.

La red por la que transcurre el transporte se describe como un grafo, constituido por una serie de nodos (los centros emisores/receptores del tráfico), conectados entre sí por medio de caminos o rutas orientadas. Esto último quiere decir que se distinguen como distintas la ruta que une el nodo A con el nodo B, de otra que una el nodo B con el nodo A; y en términos matemáticos se representan por medio de *aristas orientadas*. Es por estas que determinados *objetos* se desplazan entre los nodos. Los objetos salen de unos nodos hacia otros y pueden permanecer un cierto tiempo en un nodo, antes de volver a salir hacia otro. Este movimiento de objetos por el grafo se denomina tráfico.

Sin duda, la naturaleza de los objetos que se consideren y la manera en que viajan en la red diferencia unos casos de otros, lo que se traduce en distintos tipos de modelos matemáticos. En el artículo citado los autores consideran que el tráfico en la red obedece los siguientes principios:

- (1) Los nodos están conectados entre sí por aristas orientadas bien definidas por las que los objetos viajan. El tráfico ocurre sólo a través de estas aristas.
- (2) Entre dos nodos distintos existe como máximo una arista orientada.
- (3) El recorrido de cada uno de los objetos por el grafo se origina en uno de los nodos (nodo de salida) y termina en otro nodo (nodo de llegada). Cada objeto puede permanecer "almacenado" en un nodo antes de salir hacia otro nodo.
- (4) A lo largo de una arista del grafo sólo pueden viajar objetos que previamente estaban en el nodo de salida.

Estos simples principios describen bien algunos tipos de tráfico, como, por ejemplo, el de aviones entre aeropuertos, trenes entre estaciones, barcos entre puertos y redes de distribución de mercancías. Otros tipos de casos, como el desplazamiento de coches por calles y carreteras, son difíciles de acomodar a estos principios, ya que los coches pueden detenerse en cualquier punto antes de llegar a su destino, por tanto, no van

de nodo a nodo sin detenerse. Tampoco el tráfico de paquetes de *bits* en internet, ya que nuevos paquetes pueden originarse en cualquier ordenador conectado a la red, no existe un nodo de salida. Además, entre dos ordenadores conectados en la red, no hay un único camino para llevar información de uno a otro. Pese a estas limitaciones, un buen número de situaciones se pueden modelar con estas ideas.

A esto se añade un quinto principio, que permite simplificar el modelo en una primera aproximación:

- (5) Cualquier objeto tarda un tiempo conocido y constante en recorrer la arista que une dos nodos cualesquiera. Igualmente, el periodo que cualquier objeto permanece almacenado en uno de los nodos antes de continuar su viaje es fijo.

Estos principios pueden traducirse de manera directa en una serie de ecuaciones integrales, que describen en cada instante la cantidad de objetos presentes en cada arista y en cada nodo. En ellas aparecen tan sólo unas nuevas magnitudes, que son las tasas por las que objetos en un nodo salen hacia otro. Esas tasas de salida son el número de objetos que sale (a cada uno de los otros nodos) por unidad de tiempo. Y están definidas en cada momento por controladores situados en cada nodo. Conocidas esas tasas de salida, el tráfico en la red queda determinado en cualquier instante, sabiendo únicamente cuántos objetos hay inicialmente en cada nodo y en cada arista.

El siguiente paso consiste en asumir que las tasas de salida se calculan en función de los valores del tráfico (esto es de la cantidad de objetos en cada nodo y en cada arista), de manera que se pueda diseñar un sistema de supervisión (automática o humana) del tráfico. Esto introduce en el problema los *operadores de decisión* en cada uno de los nodos que, en base a la información del tráfico, determinan las tasas de salida. Esto transforma las ecuaciones integrales anteriormente citadas en implícitas. Estas son ecuaciones en las que las funciones incógnitas satisfacen ciertas relaciones que las involucran a sí mismas. Por tanto, no están "despejadas" ni dadas por una fórmula explícita que se pueda computar.

En el artículo se demuestra la existencia de soluciones para este sistema. En este modelo, los operadores de decisión utilizan los datos del tráfico en un intervalo de tiempo para determinar las tasas de salida en un determinado instante. Esto convierte a las ecuaciones integrales implícitas en ecuaciones funcionales con retardo. En estas, el valor de la incógnita en un instante viene determinado por el valor de la incógnita en un tiempo o un intervalo de tiempos anteriores.

El caso en el que el operador de decisión utiliza sólo información del número de objetos en ese nodo se reduce el número de incógnitas del problema, ya que el tráfico en las aristas queda explícitamente determinado por el número de objetos en cada nodo.

En este artículo se suponen unas ciertas condiciones generales (llamadas de *Lipschitzianidad*) de los operadores de decisión y se demuestra que los modelos resultantes están bien planteados, que obedecen el principio de conservación de la flota, es decir, que el número de objetos que se desplaza por la red no depende del tiempo. Sobre ellos, los autores han analizado con más detalle algunos casos de operadores lineales de decisión en los nodos. Para estos últimos han estudiado algunas propiedades de las soluciones independientes del tiempo, son los llamados equilibrios. También han mostrado que si se utiliza información no actualizada del tráfico para tomar las decisiones, en un tiempo finito el sistema puede colapsar, en el sentido de que el número de objetos en algún nodo se hace negativo. Por el contrario, si se utiliza la información actualizada del tráfico para tomar las decisiones, las soluciones existen para todo tiempo. Esto significa que los desplazamientos de la red funcionarán para siempre con el conjunto de reglas de decisión automática elegido.

Los modelos que surgen en este artículo difieren de otros previos que describen la distribución espacial de objetos en las aristas el grafo, en los que, por lo tanto, las funciones incógnitas incorporan una dependencia espacial además de la temporal. Esto hace que el tipo de modelos resultantes sean sistemas de ecuaciones en derivadas parciales de primer orden en el grafo, lo que permite describir el comportamiento espacial del tráfico y predecir y controlar los colapsos espaciales (embotellamientos), para así estudiar sus causas y sus soluciones por medio de modelos matemáticos.

A partir de estos resultados, los investigadores podrían plantearse el diseño de reglas automatizadas de decisión, que permitan que el tráfico en la red se comporte de una manera prefijada de antemano. También podrían introducirse restricciones operacionales en el problema, como, por ejemplo, limitar el tráfico máximo en cada nodo y/o arista, y estudiar el comportamiento a largo plazo del tráfico para alguna clase razonable de operadores de decisión. Asimismo, sería interesante analizar el caso en el que el tiempo de viaje en cada arista no es constante, sino una variable aleatoria con fluctuaciones pequeñas sobre un valor medio.

Research Article

Mathematical Methods in the Applied Sciences

Received 10 May 2016

Published online 27 January 2017 in Wiley Online Library

(wileyonlinelibrary.com) DOI: 10.1002/mma.4278  
 MOS subject classification: 34A12; 34A33; 34A34; 34K11

## Some general models of traffic flow in an isolated network

**Ángela Jiménez-Casas<sup>a</sup> and Anibal Rodríguez-Bernal<sup>b,c,t</sup>**

Communicated by R. Bravo de la Parra

Starting from basic principles, we obtain mathematical models that describe the traffic of material objects in a network represented by a graph. We analyze existence, uniqueness, and positivity of solutions for some implicit models. Also, some linear models and their equilibria are analyzed. Copyright © 2017 John Wiley & Sons, Ltd.

**Keywords:** traffic flow; networks; graphs; delay integral systems

---

1. Introduction

Nowadays, the displacement of objects, goods, supplies, or information on distribution networks is something that we experience on a daily basis. From Internet communication or good supplies to all sorts of vehicles, including surface motor vehicles, planes, and trains, to mention just a few of illustrating examples. Despite their intrinsic differences, all these phenomena have a common underlying nature that allows to a more or less unified mathematical treatment. First, the spatial network is assimilated to a graph, which is made of a set of 'nodes' connected through oriented, non-intersecting traffic paths or oriented 'edges', along which objects' travel between nodes. Some objects can be stored' in some node for some time before traveling to another node. The motion of objects along the network is denoted 'traffic'. Second, the nature of the objects' and the way the travel on the network differentiate some cases from others. Here, for the description of the traffic, we will assume the following

**Principles of the traffic of material object in a network**

**Principle 1** The nodes are connected through well-defined oriented edges, along which the objects travel. The traffic only occurs along the edges.

**Principle 2** Between two nodes, there is at most one oriented edge connecting them.

**Principle 3** The traffic originates at one node (departure node) and ends at another node (arrival node). Traffic can be stored for some time at one node.

**Principle 4** Along an edge, only objects previously in the departure node can travel.

These principles describe well some types of traffic in networks, which include air traffic between airports, trains traffic between stations, ship traffic between sea ports, or supply distribution networks. Some other types of situations like car traffic or Internet communication packets are more difficult to accommodate to such principles.

The models we present in this paper, derived from the aforementioned principles, are somehow related to previous ones appearing in the literature of air traffic control. For example, the so-called aggregate flow models describe the traffic flow (of airplanes) among connected control centers, which divide the airspace of a given region (e.g. [1–3] and references therein). They give rise to space-time discrete models. On the other hand, the so-called Eulerian models create a spatial grid of surface elements (SEs) covering the region of airspace being modeled. Hence, a typical SEL is connected to eight other SELs to which the traffic outflows and inflows. SELs lying on the boundary of the airspace have additional inputs representing traffic entering from outside the network (e.g., [4–8] and references therein). The dynamics of the air traffic flow in a SEL also leads to discrete models. See also [6, 9] for comparisons between these two types of models. In our setting, either control centers or SELs can be assimilated to the nodes in the graph and the models in the aforementioned references resemble a time discretization of some of the linear models in Section 4.

<sup>a</sup> Grupo de Dinámica No Lineal, Universidad Pontificia Comillas de Madrid, C/Alberto Aguilar 23, 28015 Madrid, Spain

<sup>b</sup> Departamento de Matemática Aplicada, Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid, Spain

<sup>c</sup> Instituto de Ciencias Matemáticas, CSIC-UAM-UCM-ICM, Madrid, Spain

<sup>t</sup> Correspondence to: Anibal Rodríguez-Bernal, Departamento de Matemática Aplicada, Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid, Spain.

<sup>†</sup> E-mail: anber@ucm.es

Copyright © 2017 John Wiley & Sons, Ltd.

Math. Meth. Appl. Sci. 2017, 40 3982–4000

"Some general models of traffic flow in an isolated network", de Ángela Jiménez-Casas y Anibal Rodríguez-Bernal.

**Sobre los autores:**

**Ángela Jiménez-Casas** es profesora *propio ordinario* de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI) del departamento de Matemática Aplicada de la Universidad Pontificia de Comillas (UPoC). Licenciada en Ciencias Matemáticas por la Universidad Complutense de Madrid (1980-1985) y doctora en Ciencias Matemáticas por la misma universidad (1990-1996), fue profesora titular de Escuela Universitaria de la Universidad Politécnica de Madrid desde 1987 hasta 1998. Además, desde 1985 es profesora en la ETSI-ICAI de la UPoC en el departamento de Matemática Aplicada del que fue directora de 1999 hasta 2003. Desde diciembre de 2002 a julio de 2009 ocupó el cargo de vicerrectora de Investigación, Desarrollo e Innovación de la UPoC. Asimismo, es coordinadora del grupo de dinámica no lineal de Comillas y miembro del grupo interuniversitario Comportamiento Asintótico y Dinámica de Ecuaciones Diferenciales (CADEDIF), con los que participa en proyectos de investigación financiados por el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad. Desde el 2002 es Colaboradora Honorífica del departamento de Matemática Aplicada de la UCM, como investigadora en el ámbito de las ecuaciones en derivadas parciales no lineales. Ha dirigido de nuevo el departamento de Matemática Aplicada de la ETS-ICAI hasta el curso 2015-16, en el que fue directora de la Cátedra de Ciencia Tecnología y Religión de la UPoC.

**Anibal Rodríguez Bernal** es catedrático de Matemática Aplicada en la Universidad Complutense de Madrid (UCM) y miembro del ICMAT desde sus orígenes. Licenciado en la UCM en 1986 y doctor por la misma universidad en 1990, ha desarrollado su carrera investigadora en el ámbito de los sistemas dinámicos de infinitas dimensiones, con énfasis en el estudio de propiedades cualitativas de soluciones de ecuaciones en derivadas parciales no lineales disipativas. Ha dirigido siete tesis doctorales, varios proyectos de investigación dentro del Plan Nacional de Matemáticas y ha publicado una centena de artículos de investigación en revistas internacionales. Su labor de investigación la desarrolla dentro del grupo de investigación CADEDIF (Comportamiento Asintótico y Dinámica de Ecuaciones Diferenciales) de la UCM, del que ha sido fundador. Ha sido director del departamento de Matemática Aplicada de la UCM durante el periodo 2012-2016.

## RESEÑA CIENTÍFICA: Vórtices gravitacionales, cuerdas cósmicas y las ecuaciones de Kähler–Yang–Mills

**Nombre del artículo:** “Gravitating vortices, cosmic strings, and the Kähler–Yang–Mills equations”.

**Autores:** Luis Álvarez-Cónsul (ICMAT-CSIC), Mario García-Fernández (ICMAT-UAM), Óscar García-Prada (ICMAT-CSIC).

**Fuente:** *Communications in Mathematical Physics*, Volume 351, Issue 1, pp. 361–385.

**Fecha publicación:** abril de 2017.

**doi:** 10.1007/s00220-016-2728-2

Cuando una masa de agua se enfría por debajo del punto de congelación y comienza la nucleación, creándose hielo alrededor de puntos de nucleación aleatoriamente separados, las moléculas de agua se disponen en retículos cristalinos muy ordenados. Al crecer las zonas congeladas, los cristales de hielo adyacentes se unen de forma errática. Las fronteras en las que se interrumpen las estructuras cristalinas son defectos topológicos. En general, en la materia condensada, las transiciones de fase asociadas con una pérdida de simetría, como la formación de cristales, crean defectos topológicos similares.

Una combinación de ideas de la cosmología y de la unificación de fuerzas en la física de partículas sugiere una sucesión de transiciones de fase similares, con ruptura de simetría, en el universo primitivo, cuando este se expandió y enfrió. Como sucede en la física de la materia condensada, estas transiciones pudieron provocar la formación de defectos topológicos, algunos de los cuales podrían haber sobrevivido hasta nuestros días. Una clase especial de tales defectos topológicos, denominados cuerdas cósmicas, serían especialmente interesantes en cosmología y en física de partículas. Se trata de filamentos estrechísimos de material primordial, sobrante de los primeros momentos del universo. Aunque no se hayan observado aún, su existencia explicaría algunos fenómenos astrofísicos exóticos, tales como una cantidad inesperadamente grande de positrones muy energéticos observada en el espacio [1], y la formación de agujeros negros supermasivos con alto corrimiento hacia el rojo [2]. Podrían detectarse gracias a sus efectos gravitacionales sobre el fondo cósmico de microondas o mediante experimentos con ondas gravitacionales [3].

La estructura matemática básica de una cuerda de este tipo es un campo escalar complejo, el campo de Higgs  $\varphi$ , que se arremolina alrededor de la ubicación de la cuerda, donde hay una mayor concentración de la densidad de energía. La existencia de cuerdas cósmicas está íntimamente ligada a la elección del potencial para el campo de Higgs:

$$V(\varphi) = \lambda(|\varphi|^2 - \tau)^2$$

En las configuraciones de mínima energía se tiene que  $|\varphi|^2 = \tau$ , pero la fase de  $\varphi$  no está determinada y parametriza los puntos del espacio de vacíos, que es un círculo. Dado que la elección del estado fundamental en el círculo (denominada ruptura espontánea de la simetría) puede variar a lo largo del espacio-tiempo, por continuidad  $\varphi$  puede verse forzado a salir del espacio de vacíos, creándose así superficies en las cuales  $\varphi = 0$  (la hoja espacio-temporal bidimensional de la cuerda).

B. Linet, y A. Comtet y G. W. Gibbons, demostraron a finales de los años ochenta que, en ciertos modelos físicos, para probar la existencia teórica de las cuerdas cósmicas bastaba con resolver un sistema de ecuaciones en derivadas parciales sobre

una superficie de Riemann  $\Sigma$ , conocidas como las ecuaciones de Einstein–Bogomol’nyi. En el caso en el que  $\Sigma$  es no compacta, el análisis de estas ecuaciones llevado a cabo durante la década de 1990, especialmente por Y. Yang y J. Spruck, dio lugar a la construcción de familias continuas de cuerdas cósmicas de energía finita. Para  $\Sigma$  compacta, Y. Yang las estudió en la esfera bidimensional (la única topología permitida) y probó la existencia de soluciones bajo ciertas condiciones en la posición relativa de los ceros del campo de Higgs.

En un artículo recientemente publicado en *Communications in Mathematical Physics*, Luis Álvarez-Cónsul (ICMAT-CSIC), Mario García-Fernández (ICMAT-UAM) y Óscar García-Prada (ICMAT-CSIC) señalan interesantes relaciones entre las ecuaciones de Einstein–Bogomol’nyi y diversas áreas de la geometría. El primero de estos vínculos lo obtuvieron aplicando métodos de reducción dimensional al producto de la esfera bidimensional con una superficie de Riemann compacta. Las ecuaciones de Kähler–Yang–Mills, introducidas por estos autores en un artículo anterior [4], surgen como una extensión natural de dos teorías bien conocidas en la geometría, dedicadas al estudio de las métricas de Kähler con curvatura escalar constante y a las conexiones de Hermite–Yang–Mills. Las ecuaciones obtenidas por reducción dimensional generalizan las ecuaciones de Einstein–Bogomol’nyi a superficies de Riemann de cualquier género. Dado que acoplan vórtices con métricas riemannianas definidas sobre la superficie, se denominaron ecuaciones vorticiales gravitantes.

La segunda relación encontrada surgió al observar que las condiciones suficientes halladas por Y. Yang para resolver las ecuaciones de Einstein–Bogomol’nyi tienen un significado natural en la Teoría de Invariantes Geométricos introducida por D. Mumford en los años sesenta para construir cocientes bajo acciones de grupos en geometría algebraica. Estas relaciones inspiraron una conjetura que identifica el espacio de módulos, que parametriza las soluciones de las ecuaciones de Einstein–Bogomol’nyi con el cociente más simple que aparece en la teoría de Mumford, esto es, con la teoría de formas binarias, una importante temática de la segunda mitad del siglo XIX en la que aún quedan problemas computacionales por resolver.

Partiendo de esta interacción entre diferentes campos, Álvarez-Cónsul, García-Fernández, García-Prada y V. P. Pingali (IISc-Bangalore) han demostrado en un artículo [5], aún por publicar, el recíproco del teorema de Yang, estableciendo así una correspondencia entre las ecuaciones de Einstein–Bogomol’nyi y la Teoría de Invariantes Geométricos. Esta correspondencia proporciona indicios sobre la conjetura anterior sobre espacios de módulos y formas binarias y, además, demuestra una conjetura de Y. Yang sobre la inexistencia de cuerdas cósmicas superpuestas en un mismo punto de la esfera de Riemann [6]. También, demostraron la existencia y unicidad de soluciones de las ecuaciones vor-

ticiales gravitantes para género  $g \geq 2$ , para una región explícita de parámetros de acoplo. Este resultado podría compararse con el caso hiperbólico del famoso Teorema de Uniformización de Klein, Poincaré, y Koebe de finales del s. XIX y principios del s. XX, en su versión métrica. Éste afirma que una superficie de Riemann compacta de género  $g \geq 2$  admite una única métrica con curvatura constante con un volumen prefijado. Para su demostración se han combinado técnicas de la geometría simpléctica y del análisis no lineal en variedades.

**Referencias:**

1. P. Parsons, Nature News, 10 March 2009.
2. S. F. Bramberger, R. H. Brandenberger, P. Jreidini, J. Quintin. J. Cosmol. Astropart. Phys., 2015.
3. P. Ade et al., Planck 2013 results. XXV, Astronomy and Astrophysics, 2014.
4. L. Álvarez-Cónsul, M. García-Fernández, O. García-Prada, Geom. Top., 2013.
5. L. Álvarez-Cónsul, M. García-Fernández, O. García-Prada, V. P. Pingali, arXiv:1606.07699.
6. Y. Yang, Proc. Royal Soc. London, 1997.

Commun. Math. Phys. 351, 361–385 (2017)  
Digital Object Identifier (DOI) 10.1007/s00220-016-2728-2

Communications in  
**Mathematical  
Physics**



**Gravitating Vortices, Cosmic Strings, and the Kähler–Yang–Mills Equations**

**Luis Álvarez-Cónsul, Mario García-Fernández, Oscar García-Prada**

Instituto de Ciencias Matemáticas (CSIC-UAM-UC3M-UCM), Nicolás Cabrera 13–15, Cantoblanco 28049, Madrid, Spain.  
E-mail: lalvarez-consul@icmat.es; mario.garcia@icmat.es; oscar.garcia-prada@icmat.es

Received: 17 March 2016 / Accepted: 24 May 2016  
Published online: 6 September 2016 – © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2016

**Abstract:** In this paper we construct new solutions of the Kähler–Yang–Mills equations, by applying dimensional reduction methods to the product of the complex projective line with a compact Riemann surface. The resulting equations, which we call gravitating vortex equations, describe abelian vortices on the Riemann surface with back reaction of the metric. As a particular case of these gravitating vortices on the Riemann sphere we find solutions of the Einstein–Bogomol’nyi equations, which physically correspond to Nielsen–Olesen cosmic strings in the Bogomol’nyi phase. We use this to provide a Geometric Invariant Theory interpretation of an existence result by Y. Yang for the Einstein–Bogomol’nyi equations, applying a criterion due to G. Székelyhidi.

**Contents**

1. Introduction	362
2. The Kähler–Yang–Mills Equations	365
3. The Gravitating Vortex Equations	368
4. Existence of Gravitating Vortices in the Weak Coupling Limit	373
5. Yang’s Theorem and Geometric Invariant Theory	377
References	384

Partially supported by the Spanish MINECO under the ICMAT Severo Ochoa Grant No. SEV-2011-0087, and under Grant No. MTM2013-43963-P. The work of the second author has been partially supported by the Nigel Hitchin Laboratory under the ICMAT Severo Ochoa Grant. The research leading to these results has received funding from the European Union’s Horizon 2020 Programme (H2020-MSCA-IF-2014) under Grant agreement No. 655162, and by the European Commission Marie Curie IRSES MODULI Programme PIRSES-GA-2013-612534.

**Sobre los autores:**

**Luis Álvarez Cónsul** es científico titular en el ICMAT. Su investigación se centra en la geometría algebraica y diferencial, y su interacción con la teoría de representaciones y la física teórica. Está especialmente interesado en las estructuras geométricas asociadas a espacios de móduli que parametrizan objetos de diversos tipos, como fibrados, representaciones de carcajes, variedades algebraicas y soluciones de ecuaciones de tipo gauge.

Doctor en Física por la Universidad Autónoma de Madrid en 2000, ha desempeñado puestos como profesor e investigador en la Universidad de Illinois en Urbana–Champaign, en la Universidad de Bath y en el CSIC. Obtuvo una beca Marie Curie y un contrato de investigación Ramón y Cajal. Sus artículos se han publicado en revistas como *Communications in Mathematical Physics*, *Geometry and Topology*, *Crelle* e *Inventiones Mathematicae*.

**Mario García-Fernández** es profesor ayudante doctor en la Universidad Autónoma de Madrid desde septiembre de 2017 y miembro del ICMAT. Obtuvo su doctorado en 2009 en la Universidad Autónoma de Madrid, tras lo que ha ocupado varios puestos postdoctorales en el ICMAT (con una beca Marie Curie y del Laboratorio Nigel Hitchin del programa Severo Ochoa), en la École Polytechnique Fédérale de Lausanne (Suiza), en el Centre for Quantum Geometry of Moduli Spaces (Dinamarca) y en el Instituto Max Planck de Matemáticas (Alemania).

Su investigación se centra en las áreas de geometría diferencial y geometría algebraica. Los problemas que estudia se engloban en el campo de la geometría compleja (Kähler y hermitica) y tienen fuertes vínculos con el análisis geométrico y la física matemática. Su principal línea de investigación es el estudio de estructuras geométricas y espacios de móduli. Es autor de artículos en revistas como *Communications in Mathematical Physics*, *Geometry and Topology*, *Mathematische Annalen* y *Proceedings of the London Mathematical Society*.

**Óscar García-Prada** es profesor de investigación del CSIC en el ICMAT. Doctor en matemáticas por la Universidad de Oxford en 1991, realizó estancias postdoctorales en el Institut des Hautes Études Scientifiques (París), la Universidad de California, en Berkeley, y la Universidad de París-Sud, antes de alcanzar puestos permanentes en la Universidad Autónoma de Madrid y en la École Polytechnique (París). En 2002 se unió al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).

Su investigación radica en la interacción de la geometría diferencial y algebraica con las ecuaciones diferenciales de la física teórica, concretamente, en el estudio de los espacios de móduli y las estructuras geométricas.

García-Prada es autor de artículos en revistas como *Duke Mathematical Journal*, *Journal of Differential Geometry*, *Topology* y *Mathematische Annalen*, y cuenta con colaboradores en España, EE. UU., Reino Unido, Francia, Alemania, Portugal, Italia, Canadá e India. Es miembro de varios comités internacionales y es editor en varias revistas internacionales, incluida la *International Journal of Mathematics*. Ha supervisado más de 10 tesis de doctorado, así como varios investigadores posdoctorales, y ha sido el investigador principal de alrededor de 40 proyectos de investigación nacionales e internacionales.

PERFIL: Simón Rodríguez

## “La heterogeneidad facilita el trabajo en equipo”



Imagen: Simón Rodríguez

Simón Rodríguez.

**Elvira del Pozo.** Simón Rodríguez, estudiante de doctorado en el [Grupo de Estadística, Probabilidad e Investigación Operativa \(SPOR\)](#) del ICMAT, es un físico entre matemáticos. Estudió Física en la Universidad Autónoma de Madrid y después realizó un máster en Física Teórica. “Me veía investigando en este campo, me gusta mucho”, reconoce, pero su curiosidad por la inteligencia artificial y el *big data* hizo que el encuentro con uno de sus profesores de máster cambiara su campo de estudio radicalmente. Ese maestro era [David Gómez-Ullate](#) (UCM-ICMAT), su actual director de tesis y, también, físico de formación.

“El título no es definitivo, es que es algo difícil de explicar”, responde cuando se le anima a contar en qué consiste su trabajo. “Estamos intentando desarrollar un diagnóstico médico automático utilizando redes neuronales”, resume. El punto de partida son radiografías de pacientes reales, cada una compleja y única. El primer paso es obtener imágenes simplificadas que identifiquen los datos importantes, en los que la mirada experta de un sanitario se fijaría para realizar un diagnóstico. Después, las matemáticas se emplean para diseñar un algoritmo capaz de interpretar esos indicadores de manera autónoma, “y al que tenemos que ir dando ejemplos para que aprenda a hacer las cosas bien. Cuantos más y mejores sean estos ejemplos, mejor”, cuenta Rodríguez.

Procesar y clasificar las imágenes no es sencillo, y trabajar con redes neuronales es la clave para llegar a buen puerto. “Se puede pensar como una red neuronal cerebral; cada neurona en el cerebro hace una operación muy simple, como es pasar corriente hacia delante, pero la estructura de red es capaz de realizar computaciones mucho más complejas”, explica Rodríguez. Del mismo modo, los algoritmos con los que trabaja consisten en una serie de capas con una serie de unidades en cada una, capaces de realizar operaciones muy simples, productos y sumas.

**A Simón Rodríguez (Vega de San Mateo, Gran Canaria, 1993) siempre le han atraído las ciencias y, por ello, en 2011, comenzó el grado en Ciencias Físicas en la Universidad Autónoma de Madrid (UAM), que terminaría en 2015. A lo largo de ese período, sus proyectos estuvieron relacionados con distintas ramas de la física, yendo desde aspectos experimentales hasta las facetas más teóricas. Le acabaron atrayendo más estos últimos, por lo que decidió cursar el Máster de Física Teórica en la Universidad Complutense de Madrid (UCM). Sin embargo, tras realizar su proyecto final en esta disciplina, desvió su interés hacia los proyectos de *machine learning* de David Gómez-Ullate (ICMAT-UCM), uno de sus profesores de máster y que acabaría por ser su director de tesis. En 2016, comenzó su doctorado sobre diagnóstico médico automatizado mediante el empleo de imágenes, dentro del grupo de Estadística, Probabilidad e Investigación Operativa (SPOR, por sus siglas en inglés) del ICMAT.**

Cuando combinan todas esas capas de una manera masiva, se obtiene una gran capacidad de cálculo. Estas disposiciones se pueden moldear para obtener los resultados que se deseen.

De su base como físico reconoce que puede aprovechar poco en este momento. Quizás le sirve para entender ciertos conceptos de iluminación y de óptica muy relacionados con la información gráfica con la que trabaja –imágenes obtenidas por rayos X-. Pero, sobre todo, utiliza la estadística, las matemáticas y la programación en su día a día. “Se trata de un proyecto que requiere de muchas disciplinas”, comenta. Eso explica que sus compañeros de laboratorio sean, no solo matemáticos, sino informáticos y, también, físicos como él. “La heterogeneidad facilita mucho el trabajo en equipo porque cada uno aporta lo que mejor sabe hacer y ayuda a los demás cuando lo necesitan”.

En definitiva, la “mezcla” que hay en su pequeño entorno de investigación quizás sea el reflejo de que los retos actuales son tan complicados que requieren ser analizados desde varios ángulos y resueltos de manera conjunta. La misma filosofía está detrás de otros proyectos del grupo SPOR, como el análisis de sentimientos y la detección de fraude bancario, con una combinación de científicos de distintas ramas que colaboran entre sí. Todos ellos utilizan e implementan tecnologías punteras como el *machine learning*, el *big data* y la inteligencia artificial.

Rodríguez tiene claro que quiere dedicarse a la investigación. “Me interesa mucho profundizar en el campo de las redes neuronales”, reconoce. Y pese a que es un gran defensor de la ciencia básica, a él le gustaría poder desarrollar técnicas útiles para la sociedad. Incluso, querría incorporar a esta ecuación su otra gran pasión, el activismo ecologista, y “estudiar problemas ambientales con *machine learning*” y así, arrojar luz sobre temas tan complejos e importantes como el cambio climático. ¿Le gustaría regresar a Canarias? “Me encantaría, pero si investigar en España ya es difícil, allí lo es más”, concluye.

## CUESTIONARIO ICMAT: Liz Mansfield y Peter Clarkson

Imagen: ICMAT



El congreso "Integrable systems, symmetries, and orthogonal polynomials" celebró el 60 cumpleaños de Peter Clarkson y Liz Mansfield.

**Liz Mansfield nació en Sidney, Australia. Estudió el grado de Ciencia y el Master en Matemáticas en la Universidad de Sidney, donde también concluyó su doctorado en 1992 bajo la supervisión de E.D. Fackerell. Actualmente es catedrática de matemáticas en la Universidad de Kent (Reino Unido).**

### ¿Por qué escogió estudiar matemáticas?

Estaba interesada en muchas cosas, pero veía las dificultades misóginas que podría encontrar para hacer carrera en muchos de los campos que me interesaban. En un problema matemático, al menos, nadie podría decirte que lo que habías hecho estaba mal simplemente por ser una chica; las cosas están bien o mal por criterios objetivos. Además las matemáticas me parecían un lugar tranquilo, claro y atrayente, en un mundo caótico y difícil.

### Además de matemáticas, ¿qué otras cosas le gusta hacer?

Toco el piano, me divierto en el jardín, y ¡soy una "foodie"!

### ¿Qué película, libro u obra de teatro recomendaría?

Vi 'Harold and Maude' muchas veces cuando era adolescente. Más recientemente me ha cautivado la serie francesa 'Les Revenants'. Ahora mismo estoy leyendo "The Art of Color", de Johannes Itten, y escuchando la sonata para piano en mi sostenido menor de Paul Dukas.

### ¿Cómo fue su primera experiencia con la investigación matemática?

Estaba trabajando en un banco en mercados financieros y escribí un breve informe sobre un programa que hice. Entonces, me pareció evidente que necesitaba un trabajo con más contenido intelectual, y decidí hacer el doctorado en cuanto pudiese.

### ¿Qué le atrajo hacia la carrera investigadora entonces?

Me gustaba que lo que había hecho, en el banco, podía ser útil, y poder explicar el contexto y las aplicaciones de mi trabajo a un público general, que quizás no podrían haber leído el informe.

### ¿Qué científico/a le ha impresionado más durante su carrera?

En primer lugar, mi padre. Se veía cómo amaba su trabajo químico en el laboratorio de patología, cómo era de creativo y de

valiente para defender las conclusiones de sus experimentos. En segundo lugar, Arieh Iserles, no solo por sus matemáticas, sino por su pasión por la igualdad y la inclusividad.

### Si pudiera discutir con un/a matemático/a de cualquier momento de la historia, ¿quién sería y de qué hablarían?

Me gustaría hablar con Gabrielle Émilie Le Tonnelier de Breuil, marquesa de Châtelet (1706—1749), sobre sus clarificaciones de los principios de Newton (que según tengo entendido, aún se usan hoy), y sobre su trabajo sobre la naturaleza de la energía cinética y el principio de conservación de energía.

### ¿Tiene alguna fórmula o demostración preferida?

Me gustan las demostraciones que involucran un proceso y que se pueden adaptar a problemas similares. Durante mi doctorado estudié la demostración de Bachmair y Buchberger del "lema del diamante", que se usa para demostrar que el resultado del algoritmo de Buchberger cumple los requisitos para ser una base de Gröbner. Me pareció maravilloso: eficiente, elegante y útil. Años después redescubrí por mi cuenta la demostración del segundo teorema de Noether, que afirma que las ecuaciones de Euler-Lagrange para el principio de acción cuando se tiene una simetría de pseudogrupo no son independientes. Su demostración se puede generalizar, sin muchas modificaciones, para calcular las dependencias de los sistemas de Euler-Lagrange discretos.

### ¿Cuál es su libro matemático preferido?

Tengo una lista muy larga de libros, que se corresponden a diferentes momentos de mi carrera. Como estudiante, absorbí todo el contenido del libro de topología de Munkres, y también los textos de Spanier y Stakgold. A lo largo de los años he vuelto una y otra vez a *Analysis, Manifolds and Physics* de Choquet-Bruhat y de Witt Morette. Después está *Applications of Lie groups to differen-*

*tial equations* de Peter Olver, que me ha acompañado de forma constante en los últimos 20 años. Actualmente mi favorito es una colección de tres cuadernos de densas notas que tomé durante un curso de 90 conferencias sobre álgebras de Lie impartidas por Georgia Benkart en la Universidad de Madison, Wisconsin (EE. UU.), al que tuve la suerte de asistir.

#### ¿Cómo describiría su investigación en unas pocas líneas?

Desde hace algún tiempo, mi interés principal es incorporar las simetrías de los grupos de Lie, que son las que producen las leyes de conservación de Noether, a cualquier código numérico empleado para estudiar problemas físicos de relevancia. El objetivo es incorporar la simetría en un problema variacional de manera que quede incorporada la física *a priori*. Muchos métodos numéricos dejan de considerar la física durante la discretización. Pese a que se haya dicho que esto es imposible, se puede hacer. El truco es tratar el problema aproximado como si fuese exacto. De esta manera puedes deducir cuáles son las acciones de los grupos de Lie inducidas en esa clase, y ¡voilà! Tomas un lagrangiano discreto invariante y así se obtienen leyes aproximadas de conservación conservadas exactamente que se pueden obtener de las simetrías y, seguramente, también estructuras simplécticas.

**Peter Clarkson nació en Westow, North Yorkshire, en 1957. Estudió Matemáticas en la Universidad de Oxford y obtuvo el doctorado por la misma universidad en 1983 bajo la dirección del Prof. Bryce McLeod, académico de la Royal Society. En la actualidad, es catedrático de Matemáticas en la Universidad de Kent, en Caterbury (Reino Unido).**

#### ¿Por qué escogió estudiar matemáticas?

Desde una edad temprana, las matemáticas me resultaban muy naturales y eran con diferencia la asignatura que mejor se me daba en el colegio.

#### Además de matemáticas, ¿qué otras cosas le gusta hacer?

Cocinar, viajar y ver deporte.

#### ¿Qué película, libro u obra de teatro recomendaría?

“Una mente maravillosa” y “El hombre que conocía el infinito”

#### ¿Cómo fue su primera experiencia con la investigación matemática?

Fue durante mi época como estudiante de bachillerato, escribiendo un trabajo sobre las funciones de Bessel.

#### ¿Qué le atrajo hacia la carrera investigadora entonces?

La posibilidad de viajar y conocer a científicos de todo el mundo.

#### ¿Qué científico/a le ha impresionado más durante su carrera?

Mark Ablowitz.

#### Si pudiera discutir con un/a matemático/a de cualquier momento de la historia, ¿quién sería, y de qué hablarían?

Paul Painlevé.

#### ¿Tiene alguna fórmula o demostración preferida?

Como teorema, el de Cayley-Hamilton. Como fórmula, la de Euler  $\exp(i) = -1$ .

#### ¿Cuál es su libro matemático preferido?

El volumen “NIST Handbook of Mathematical Functions Handbook”, editado por F.W.J. Olver, D.W. Lozier, R.F. Boisvert y C.W. Clark.

#### ¿Qué resultados recientes de su campo destacaría?

La comprensión y el uso de la definición moderna de los sistemas de referencia móviles de Cartan que inició y desarrolló Peter Olver.

#### ¿Qué problema considera especialmente interesante?

El último en el que estoy trabajando. Es así siempre.

#### ¿Sobre qué áreas de las matemáticas le gustaría aprender más?

R13: Mi campo es bastante amorfo, no tiene límites, por lo que siempre estoy aprendiendo cosas nuevas. Ahora mismo estoy aprendiendo sobre las álgebras de Lie de dimensión infinita, sobre varios esquemas numéricos y sobre la geometría de la armonía musical.

#### En el futuro, ¿qué interacción entre distintas ramas de las matemáticas cree que será más fructífera?

R14: Es importante estar al tanto de lo que sucede en campos adyacentes al tuyo y comunicar usando un lenguaje que sea comprensible en la mayoría de las áreas de las matemáticas. Así estarás preparada para hacer conexiones cuando aparecen; son siempre una sorpresa.

#### ¿Cómo describiría su investigación en unas pocas líneas?

Mis intereses de investigación se centran en desarrollar métodos para encontrar soluciones exactas y aproximadas de ecuaciones en derivadas parciales no lineales, ecuaciones ordinarias y ecuaciones en diferencias en física matemática. En particular, utilizando la teoría de solitones y reducciones de simetría generalizadas. He contribuido extensamente al estudio de las ecuaciones de Painlevé, que son seis ecuaciones diferenciales ordinarias no lineales que se consideran como el análogo no lineal de las funciones especiales. He trabajado en estudios asintóticos, transformaciones de Bäcklund, fórmulas de conexión y soluciones exactas para ecuaciones de Painlevé, así como en alguna de sus aplicaciones en ondas no lineales, polinomios ortogonales y matrices aleatorias.

#### ¿Qué resultados recientes de su campo destacaría?

La transformada de Fokas unificada para resolver problemas de frontera inicial integrables. El método de *nonlinear steepest descent* debido a Deift y Zhou.

#### ¿Qué problema considera especialmente interesante?

El problema de equivalencia de Painlevé: dada una ecuación diferencial ordinaria de segundo orden que posea la propiedad de Painlevé (tal que las únicas singularidades móviles de la solución general sean polos), cómo sabemos a cuál de las seis ecuaciones de Painlevé es equivalente.

#### ¿Sobre qué áreas de las matemáticas le gustaría aprender más?

Ecuaciones diferenciales estocásticas.

#### En el futuro, ¿qué interacción entre distintas ramas de las matemáticas cree que será más fructífera?

El desarrollo de algoritmos numéricos para ecuaciones diferenciales, en particular para ecuaciones no lineales, de tal manera que los esquemas numéricos incorporen algunas propiedades de la ecuación original.

## CUÉNTAME TU TESIS: Tania Pernas

**Título:** "On the splat singularity for the Muskat problem".

**Autora:** Tania Pernas Castaño (ICMAT-UAM).

**Director:** Diego Córdoba Gazolaz (ICMAT-CSIC).

**Ágata Timón García-Longoria.** Tania Pernas (29 de junio de 1988, Viveiro, Galicia) admite en la dedicatoria de su tesis doctoral, *On the splat singularity for the Muskat problem*, presentada en el ICMAT el mes de noviembre del pasado año, que "el desarrollo de una tesis es una época de cambios y altibajos, que no sería posible de superar sin las personas con las que te vas encontrando en el camino". Su investigación trata del *problema de Muskat*, un estudio de la evolución de la interfase entre dos fluidos inmiscibles de diferente naturaleza en un medio poroso. Junto con su director de tesis, Diego Córdoba (CSIC-ICMAT), analizó la presencia de singularidades en esta situación. Hasta sus recientes contribuciones, no se sabía nada de las llamadas singularidades *splat* en el problema de Muskat. Tras cuatro años de trabajo, ha conseguido profundizar en el estudio de este tipo de singularidades, que a pesar de que existen para otros medios, no se dan en el problema de Muskat. La idea más novedosa de la tesis gira en torno a esta demostración, que se basa en un razonamiento por contradicción. En esta investigación, además, se han estudiado distintos casos de medios porosos: medio homogéneo y no-homogéneo, en el camino de analizar el problema más general o más próximo a los problemas físicos reales. Para el caso no homogéneo, muy poco estudiado hasta ahora, se demuestra la existencia de la solución para un caso general, y también de singularidades, lo que indica la dificultad añadida que supone con respecto al caso homogéneo.

Precisamente este resultado provocó el momento más difícil de su doctorado. "Cuando pensé que estaba resuelto, envié el resultado a una revista y, justo entonces, me di cuenta de un error. Era un fallo importante que invalidaba todo el resultado. Tuve que replantear la demostración desde el principio", recuerda. Afortunadamente pudo solventarlo, justo dos días antes de empezar las vacaciones de Navidad en 2016. "Ese fue el momento más satisfactorio", comenta entre risas.

La joven matemática, que ya ha realizado una estancia de investigación de tres meses en la Universidad de Princeton junto al medallista Fields Charles Fefferman, y que actualmente tiene un contrato de profesora ayudante en la UAM, concluye ahora un periodo que recordará con especial cariño. "Pasado el tiempo inicial de adaptación, te das cuenta de que tu lugar de trabajo pasa a ser como tu casa y, por supuesto, tus compañeros de despacho, tu familia", declara.

**Tania Pernas.** Mi tesis se centra en el llamado problema de Muskat, una cuestión de física matemática sobre ecuaciones en derivadas parciales que provienen de la mecánica de fluidos, el estudio de los fluidos, las fuerzas que lo provocan, y sus interacciones con el contorno que los limita.

La evolución del fluido a lo largo del tiempo se representa con ecuaciones en derivadas parciales. En concreto, para aproximar el movimiento de fluidos usuales como el agua, el aire o el aceite, se emplean las llamadas ecuaciones de Navier-Stokes. Son un modelo básico en diversas ciencias como la aeronáutica, la meteorología, la hidráulica, etcétera. Se pueden considerar como la ley fundamental que, junto con las leyes de conservación de la masa, permite describir el movimiento de un fluido a partir de unas condiciones iniciales y de contorno determinadas. Sin embargo, hay condiciones en las que no se pueden aplicar estas ecuaciones. En concreto, en medios porosos, donde el fluido se mueve por huecos de una estructura sólida. Ejemplos de medios porosos son las rocas, los suelos (acuíferos y sedimentos petrolíferos), zeolitas, tejidos biológicos (como huesos, madera y corcho) y materiales artificiales como el cemento y las cerámicas. El estudio de la dinámica de fluidos en medios porosos, por tanto, tiene un gran interés para áreas de la ciencia aplicada y la ingeniería: filtración, mecánica (acústica, geomecánica, mecánica de suelos, mecánica de rocas), ingeniería (petrolífera, biorremediación), geociencias (hidrogeología, geofísica), biología y biofísica, ciencia de los materiales, etc.

Para modelar esta dinámica de forma eficaz se ha de tener en cuenta la resistencia ofrecida por el medio poroso, y las ecuaciones de Navier-Stokes no lo hacen, por lo que no son suficientes. En su lugar, se emplea la ley de Darcy, cuyo nombre se debe al ingeniero de puentes y caminos Henry Darcy (1803-1858), uno de los encargados del diseño y construcción del sistema de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Dijon (Francia). En torno a 1850, Darcy descubrió esta ley experimental que describe adecuadamente la dinámica del flujo de un fluido incompresible en un medio poroso.

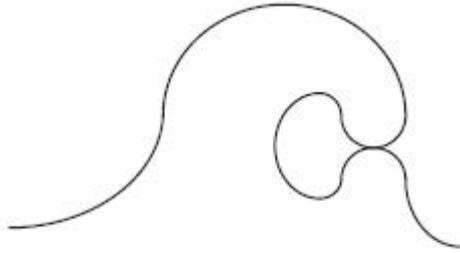
Esta ley es la que genera las ecuaciones que permiten estudiar el problema de Muskat. Morris Muskat (1906-1998) fue un ingeniero petrolífero estadounidense que, en colaboración con Milan W. Meres, generalizó la ley de Darcy para el estudio del flujo multifásico de agua, petróleo y gas en un yacimiento petrolífero. Concretamente, el problema de Muskat modela la evolución de la interfase entre dos fluidos inmiscibles de diferente naturaleza en un medio poroso. La frontera que separa los dos fluidos, la interfase, es causada por la discontinuidad entre las viscosidades y/o densidades de los fluidos.

Esta tesis trata, principalmente, del estudio de singularidades en estas ecuaciones. Específicamente se estudia la presencia de dos tipos de singularidades, que aparecen en el caso de *water waves*. Es el problema que estudia la evolución de la interfase de una región agua en el vacío.

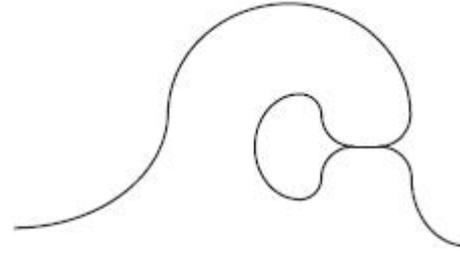
El primer tipo son las singularidades *splash*, que corresponden al caso en el que la interfase del fluido colapsa de forma suave

sobre sí misma en un punto. El segundo tipo de singularidades se denominan *splat* y es una variante de las anteriores en la cual la intersección es un arco de curva en lugar de un punto. Este tipo de singularidades también existen para el caso de *water waves* y para el caso de *water waves* con vorticidad. Sin embargo, en

la tesis demostramos, como primer resultado original de nuestras investigaciones, que no se pueden formar singularidades de tipo *splat* en el problema de Muskat estudiado, en el caso homogéneo, es decir, cuando el medio presenta la misma permeabilidad en todos sus puntos.



(a) Singularidad de tipo "splash"



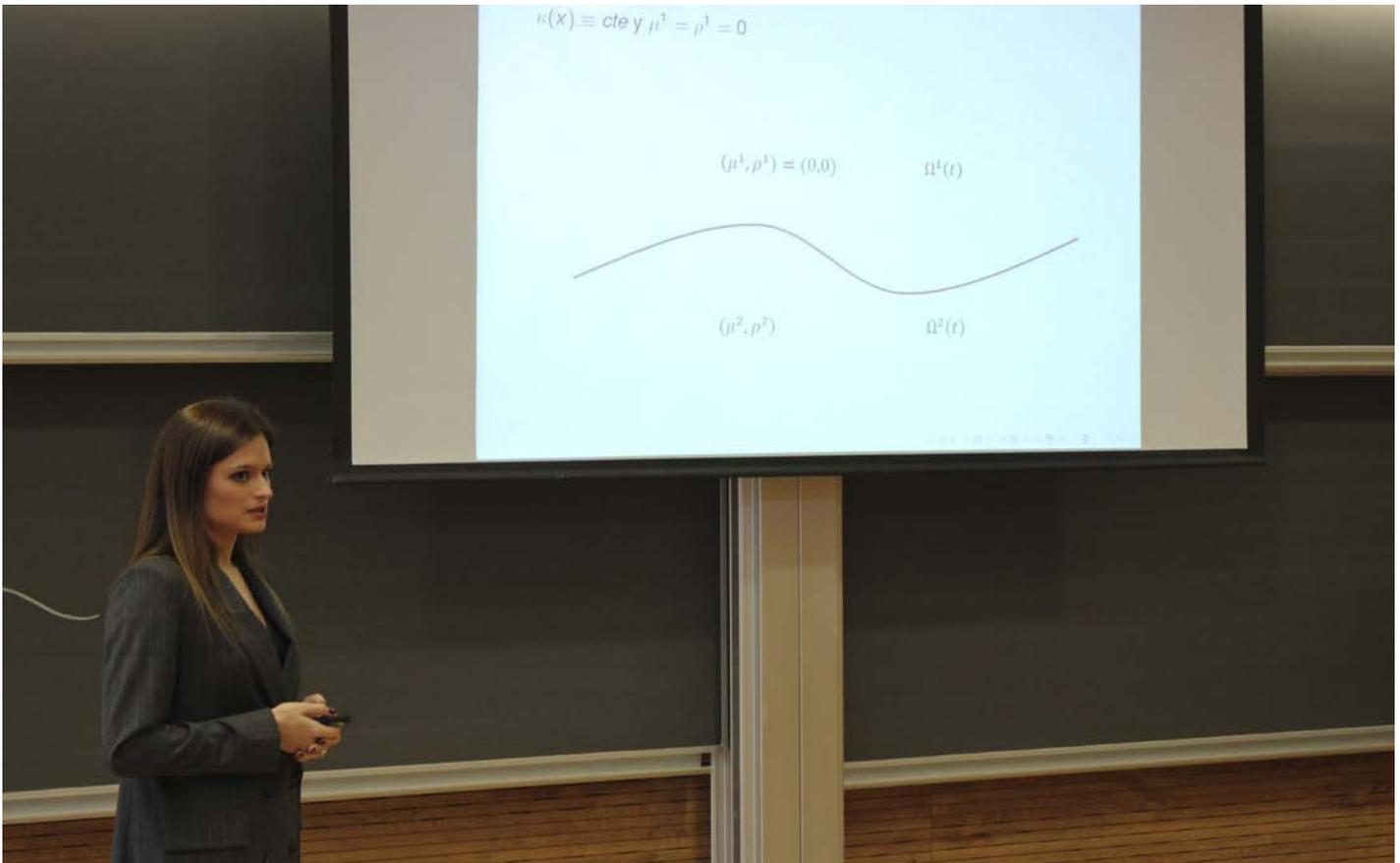
(b) Singularidad de tipo "splat"

En este trabajo también nos hemos hecho cargo del caso más genérico del problema de Muskat no homogéneo, cuando el medio poroso tiene distintos valores de permeabilidad. Además, probamos la existencia local en tiempo en espacios de Sobolev para el régimen estable. Teniendo garantizada la existencia local del problema de Muskat no homogéneo, el siguiente paso natural a dar fue realizar el estudio de singularidades a tiempo finito. Como conclusión, probamos la no existencia de

singularidades de tipo *splat*, y la existencia de singularidades de tipo *splash*.

El trabajo a desarrollar ahora, una vez terminada la tesis, es muy técnico. La idea es estudiar otros casos del problema de Muskat no homogéneo, eliminando hipótesis del teorema que probamos en la tesis. También sería interesante aplicar estas ideas y técnicas en otras ecuaciones.

Imagen: ICMAT



Tania Pernas defendió su tesis doctoral en el mes de noviembre del pasado año en el ICMAT.

## Los centros y unidades de excelencia Severo Ochoa y María de Maeztu unen fuerzas

Imagen: MINEICO



Los representantes de las diversas instituciones se reunieron en Madrid en la puesta en marcha de la Red.

25 centros y 16 unidades de investigación acreditados con las distinciones “Excelencia Severo Ochoa” y “Excelencia María de Maeztu” del Ministerio de Economía, Industria y Competitividad, entre los que se incluye el ICMAT, han formado la [Alianza Severo Ochoa y María de Maeztu](#) (SOMMa). Esta plataforma pretende in-

crementar la visibilidad nacional e internacional de la ciencia en España; promover el intercambio de conocimientos, tecnología y buenas prácticas entre sus miembros, la comunidad científica internacional y las principales partes interesadas; colaborar con el resto de centros de investigación en España para fortalecer el sistema de I+D+i; y tener voz en la política científica española y europea. Durante los dos próximos años, Luis Serrano, director del Centro de Regulación Genómica, presidirá la Alianza, y Teresa García-Milà, directora de la Barcelona Graduate School of Economics, será la vicepresidenta.

SOMMa contará con diversos grupos de trabajo orientados a alcanzar cada uno de los objetivos que se ha marcado. Entre las acciones inmediatas de la Alianza destaca el lanzamiento de un portal, que mostrará la ciencia de excelencia que se está llevando a cabo en España y pretende ser un recurso para la comunidad científica, responsables de política científica, periodistas y el público general. Otra de sus actividades será la organización de las futuras ediciones de las conferencias 100xCiencia, continuando así la serie que empezó en 2015 en La Palma y que en 2017 ha celebrado su segunda edición en Alicante, los días 2 y 3 de noviembre.

## Arte multimedia y geometría en la Residencia de Estudiantes

El ICMAT organizó el pasado 4 de diciembre “[Experiencias sensitivas en espacios abstractos. Arte multimedia desde el interior de un espacio curvo de tres dimensiones](#)”, una conferencia impartida por el matemático y artista Pierre Berger (CNRS y Universidad de Paris 13), dentro del ciclo [Matemáticas en la Residencia](#), en el que colaboran la Vicepresidencia Adjunta del CSIC y la propia [Residencia de Estudiantes](#).

En su charla, dirigida a un público general, Berger reflexionó sobre las relaciones entre arte y matemáticas a la luz de su reciente exposición “[Esthétopies](#)”. Esta muestra explora la percepción dentro de unos objetos matemáticos llamados variedades. Son espacios curvos en los que la perspectiva y la acústica se modifican. La colección de obras de arte resultantes, producto de una investigación interdisciplinar, representa las 3-variedades, similares a nuestro espacio físico (que también cuenta con tres dimensiones), pero curvos a mayor escala y con topologías diferentes.

En estas obras, el objeto representado es un concepto matemático; por ejemplo, ciertos espacios matemáticos abstractos y operaciones geométricas. “Investigamos qué sentimientos provocan, cómo pueden cambiar nuestra manera de sentir nuestro mundo”, aseguraba Berger. La técnica empleada para realizar las obras mezcla protocolos matemáticos, numéricos y artísticos. “Cuando creé los paisajes de espacios curvos tridimensionales no visualizados, primero trabajé con un programa para simular cómo sería tomar una fotografía en el mismo”, relataba el matemático. “Una vez hecho esto, sitúo un objeto determina-

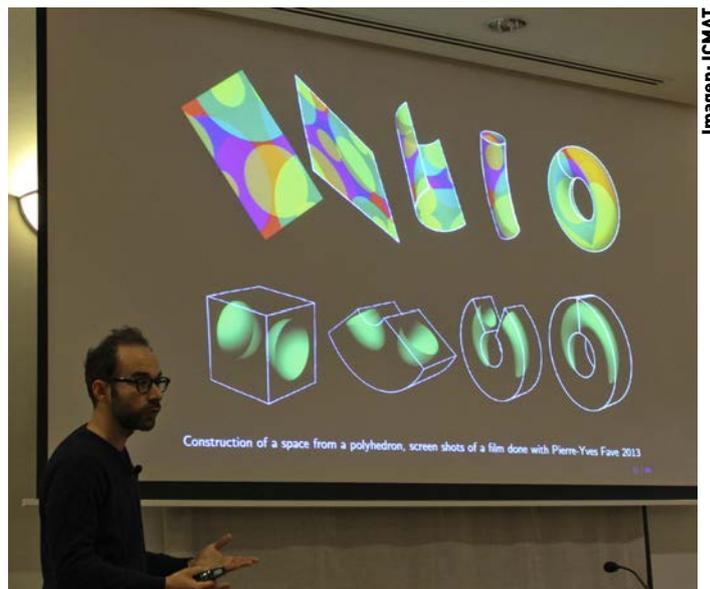
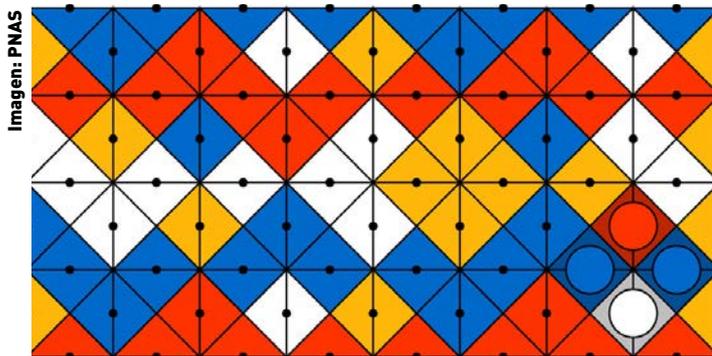


Imagen: ICMAT

Pierre Berger fue el ponente invitado a Matemáticas en la Residencia.

do, una fuente de luz en el espacio y elijo un punto desde el cual tomo la foto. Así puedo explorar los espacios al completo, conocer sus propiedades matemáticas y las experiencias sensitivas que producen”, explicaba.

## Descubren sistemas cuánticos capaces de detectar su tamaño



El sistema cuántico diseñado por los autores presenta propiedades clásicas o cuánticas dependiendo de los recubrimientos que se puedan formar usando baldosas cuadradas con los bordes coloreados, con la restricción de que las baldosas adyacentes tienen que tener el mismo color en los bordes que comparten.

Un grupo internacional de investigadores, entre los que se encuentra David Pérez-García (Universidad Complutense de Madrid - ICMAT), ha diseñado un nuevo sistema cuántico que puede modificar sus propiedades en función del tamaño. La investigación, que se publicó el 20 de diciembre del pasado año en la revista PNAS, tiene importantes implicaciones en las técnicas que se emplean para estudiar los materiales cuánticos.

Muchos sistemas cambian sus propiedades cuando se modifica alguno de sus parámetros. Por ejemplo, el agua se convierte en hielo cuando baja su temperatura. En sistemas con temperatura cero, cuya física obedece a las leyes de la mecánica cuántica, estos cambios de fase son provocados por cambios en alguno de los parámetros externos, como la intensidad de un campo magnético exterior. Pero, según este reciente artículo, también el tamaño del sistema puede generar un cambio de fase.

Los investigadores han probado, por primera vez, la existencia de sistemas que pasan de un comportamiento clásico a uno cuántico (se convierte en un sistema ordenado topológicamente) al modificar tan solo su extensión. Los tamaños que provocan la transición

del sistema se pueden fijar en cualquier orden de magnitud, desde uno microscópicamente pequeño, a uno tan grande como el número de átomos del universo. Los sistemas con orden topológico son interesantes ya que sus propiedades a baja temperatura dependen de las llamadas propiedades topológicas del material. La estabilidad de los sistemas ordenados topológicamente los convierte en candidatos a ser memorias cuánticas.

La existencia de transiciones de fase provocadas por el tamaño fue predicha, de manera abstracta, como una de las consecuencias de la indecidibilidad del gap espectral, demostrada por algunos de los investigadores que también firman este artículo. "Por definición, los problemas indecidibles no se pueden comprobar experimentalmente. En este sentido, las transiciones de fase debidas al tamaño pueden considerarse como un efecto medible de la existencia de preguntas indecidibles en mecánica cuántica", afirma David Pérez-García.

Además, esta investigación tiene implicaciones en las técnicas empleadas para estudiar los materiales cuánticos, como los superconductores de alta temperatura. El conocimiento actual se obtiene a partir de simulaciones numéricas, y el tiempo de computación y la memoria disponibles limitan las simulaciones a un número de partículas, mucho menor que el que habitualmente está presente en los materiales.

Para sortear esta dificultad, se analiza un número creciente de partículas y se extrapolan los datos numéricos hasta el caso límite de un número infinito de partículas, el llamado límite termodinámico. "Nuestros modelos muestran ejemplos concretos en los que este enfoque puede fallar, ya que las propiedades del material podrían cambiar justo por encima de los límites del ordenador", reflexionaba Toby Cubitt, investigador de la University College London (UCL). "Y, al revés, si la transición sucede en un tamaño superior al número de partículas del material, es posible que éste muestre un comportamiento clásico, muy distinto del comportamiento cuántico que se predeciría erróneamente usando el límite termodinámico. Esto cuestiona cuál es la manera correcta de hacer una extrapolación de los datos numéricos", prosigue.

## El investigador del ICMAT David Pérez, Premio 'Miguel Catalán' 2017

Por segunda vez en su historia, un investigador del Instituto de Ciencias Matemáticas (ICMAT) ha sido premiado en la categoría de ciencias del premio 'Miguel Catalán' de la Comunidad de Madrid. [David Pérez García](#), ha sido reconocido por sus aportaciones en el área de las tecnologías cuánticas y los problemas matemáticos asociados a las mismas, base de los futuros ordenadores cuánticos.

Se trata del galardón más importante que otorga la Comunidad a investigadores sobresalientes de menos de cuarenta años. "David, con su equipo, trata de desarrollar una nueva teoría de la información, combinando las ideas del matemático Claude Shannon, de cómo comprimir, corregir y tratar la información con la física cuántica", describe Ignacio Cirac, director del Instituto Max-Planck de Óptica Cuántica (Alemania) y director de uno de los Laboratorios ICMAT.

Sus resultados han tenido un enorme impacto internacional. "Me gustaría destacar las relacionadas con las descripciones eficientes de problemas de muchas partículas, una cuestión que aparece en muchos campos (la física, la química, las matemáticas...). David ha demostrado varios teoremas fundamentales de esta área", prosigue Cirac.

Pérez García, además, investiga en el desarrollo de nuevas técnicas matemáticas en áreas como la física de la materia, la teoría de la complejidad y la información cuántica. De todas ellas,



David Pérez, Premio 'Miguel Catalán' 2017, recibió un proyecto ERC.

destacan las relativas al análisis matemático, aplicadas a la descripción y clasificación de las fases cuánticas de la materia; al estudio de la no-localidad en información cuántica y al descubrimiento de nuevos problemas indecidibles en física de la materia y en la teoría de la comunicación.

## Manuel de León se convierte en miembro numerario de la Real Academia de Ciencias

Imagen: ICMAT



Manuel de León ocupa la medalla 36 de la Real Academia de Ciencias.

Manuel de León, director del ICMAT, recibió el pasado 29 de noviembre la medalla número 36 de la [Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales](#) en un acto solemne que tuvo lugar en la sede de la institución, en Madrid. Frente al resto de académicos, De León leyó su discurso de ingreso, con el título "Una historia breve de la mecánica geométrica".

Tras agradecer la invitación de la Real Academia, "de la que siempre he recibido un inmenso cariño" y recordar a los anteriores dueños de la medalla 36, De León hizo un recorrido histórico por la evolución de la mecánica geométrica, campo en el que es experto. De León terminó haciendo una mención especial a la investigación en mecánica geométrica en España, que según él, "se encuentra en una excelente situación". Destacó el papel de la Red de Geometría, Mecánica y Control, y el protagonismo de la comunidad española en la revista *Journal of Geometric Mechanics*, referencia internacional de la que De León es editor jefe y fundador.

Se encargó de enunciar la contestación de la Academia el físico y matemático Pedro Luis García Pérez. Después de repasar la carrera del nuevo académico, se dio por concluida la sesión con la incorporación de De León en su asiento. Este mismo año, De León recibió también la Medalla de la Real Sociedad Matemática Española (RSME).

## El ICMAT mostró las múltiples caras del big data en la Noche Europea de los Investigadores

"El uso del *big data* ayuda a tomar decisiones de manera sencilla y rápida, mejora la eficiencia de procesos industriales y del transporte de personas y mercancías", así lo afirmaba David Gómez Ullate (ICMAT-UCM), uno de los organizadores de la conferencia "[La sociedad del big data, ¿hacia un mundo mejor?](#)", celebrada el 29 de septiembre en el marco de la Noche Europea de los Investigadores que en la Comunidad de Madrid coordina la Fundación para el Conocimiento Madri+d.

En situaciones de emergencia el uso del *big data* se convierte en imprescindible para gestionar la ayuda humanitaria. Esta tecnología también se encuentra integrada en nuestro día a día en aplicaciones tan cotidianas como Google Maps, Amazon y las diversas redes sociales. Todas ellas tienen un punto en común:

requieren de la gestión de grandes cantidades de datos, mediante modernas técnicas estadísticas y algoritmos cada vez más sofisticados. Además, "permite recoger información en sectores como la medicina, la salud pública, los cuidados sociales, etc., para crear conocimiento con una base estadística mucho más amplia", proseguía Gómez-Ullate. Sin embargo, como cualquier tipo de tecnología, también entraña riesgos. Éstos fueron algunos de los temas que debatieron Víctor Gallego (ICMAT), David Gómez-Ullate (ICMAT-UCM), Roi Naveiro (ICMAT), Alberto Redondo (ICMAT) y Simón Rodríguez (ICMAT).

Con esta charla, el ICMAT participó un año más en las actividades de la Universidad Autónoma de Madrid, que tuvieron lugar en la Facultad de Medicina, bajo un tema común: la salud y el medioambiente en el siglo XXI.

## Arte y matemáticas de la India en el ICMAT

El encuentro "Los caminos de la matemática india" reunió el 8 de noviembre en el ICMAT a los investigadores Nigel Hitchin (Oxford), Mudumbai S. Narasimhan (Bangalore) y Sundararaman Ramanan (Chennai) y a Antonio Córdoba (ICMAT) para hablar de la relación matemática entre India y Europa. La segunda parte de la jornada estuvo dedicada al Kolam, con la exposición fotográfica "Kolam: un arte efímero de mujeres en el sur de la India". Las 40 fotografías mostraban las composiciones geométricas que las mujeres de algunas regiones de la India trazan cada mañana con harina blanca de arroz en las puertas de sus casas. Este es un ritual con el que dan la bienvenida a otros seres a su hogar, "ofreciendo un tributo diario a la coexistencia armoniosa", contaba Óscar García-Prada, uno de los organizadores de la misma. La inauguración de la muestra contó con la presencia de la autora, Claudia Silva, fotógrafa y realizadora de documentales.

El evento coincidió con la conferencia científica en honor al matemático Ramanan en su 80 cumpleaños, celebrada también en el ICMAT del 6 al 8 de noviembre de 2017.



La exposición "Kolam: un arte efímero de mujeres en el sur de la India", de Claudia Silva, se inauguró en el ICMAT.

Imagen: ICMAT

## Antonio Córdoba Barba (UAM-ICMAT), nombrado Doctor Honoris Causa por la Universidad de Murcia

Imagen: Universidad de Murcia



Antonio Córdoba Barba (UAM-ICMAT), en el acto de nombramiento Doctor Honoris Causa por la Universidad de Murcia, el pasado mes de septiembre.

La Universidad de Murcia invistió el pasado mes de septiembre a Antonio Córdoba Barba, catedrático de Análisis de la Universidad Autónoma de Madrid, miembro y exdirector del ICMAT, como Doctor Honoris Causa. El acto tuvo lugar en el salón de actos de la Facultad de Economía y Empresa de dicha universidad. Ángel Ferrández Izquierdo, catedrático de Geometría y Topología de la Universidad de Murcia, fue el encargado de impartir la Laudatio de Investidura, seguido de la lección de Antonio Córdoba, "Orfebres de ideas, entre átomos y estrellas".

Ferrández presentó a Córdoba como "un ciudadano de a pie, un murciano universal, un maestro, cuyo amor por la matemática y tesón y honestidad trabajando en este campo lo han conducido a las más altas distinciones nacionales y a un reconocimiento como muy pocos, ayer y hoy, disfrutan allende nuestras fronteras". También rememoró su carrera científica en campos muy variados, yendo de la Teoría de Números al estudio del Análisis Armónico y las Ecuaciones en Derivadas Parciales, además de la Física Matemática.

Por su parte, Antonio Córdoba reconoció sus "sólidas raíces murcianas", que le hacían "sentir profundamente conmovido por el honor que me otorga la Universidad de Murcia" y recordó su infancia en la región, en la que comenzó a sentirse "fascinado por la mecánica cuántica y la relatividad, el universo de los átomos y de los viajes espaciales".

## Un algoritmo matemático es capaz de resolver puzzles y reconstruir restos arqueológicos y huesos fósiles

El campeón español en resolución de puzzles de este año, Ángel Heras, tardó algo más de 40 minutos en ensamblar 500 piezas; el segundo necesitó casi una hora. Un algoritmo matemático desarrollado por [Peter Olver](#), director de la Escuela de Matemáticas de la Universidad de Minnesota (EE. UU.), podría reducir este tiempo hasta 30 minutos. Si el humano se fija en los colores y los dibujos, el modelo matemático lo hace en la forma de cada fragmento y no necesita conocer a priori la imagen completa ni la forma final, lo que lo hace aplicable a disciplinas como la arqueología, la paleontología y la historia. Estos temas fueron tratados en una conferencia que impartió el propio Olver en la Real Academia de Ciencias (RAC) en el mes de septiembre de 2017.

En la charla se presentaron los avances matemáticos más recientes que sirven de ayuda en la recomposición de fragmentos en ámbitos muy diversos, como la restauración de estatuas y vasijas, en arqueología; la reconstrucción de tejidos lesionados, en cirugía; y la recreación de huevos y fósiles, en paleontología. "También se podrían aplicar algoritmos similares a los desarrollados por Peter Olver para recomponer los documentos destruidos por la Stasi, la extinta policía política de Alemania del Este", contaba David Gómez-Ullate (ICMAT-UCM), organizador de la conferencia. Los Grupos de Lie, los sistemas de referencia, las invariantes diferenciales y las aproximaciones numéricas son las herramientas matemáticas que

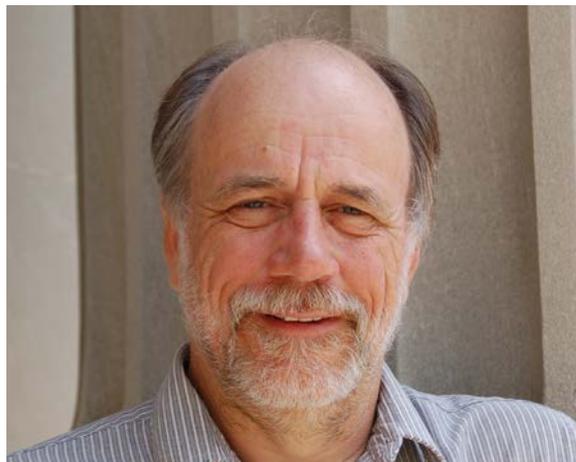


Imagen: Peter Olver

Peter Olver presentó los últimos avances matemáticos que sirven de ayuda en la recomposición de fragmentos.

Olver ha utilizado para desarrollar el algoritmo. El matemático ha contribuido, además, a la búsqueda de simetrías en ecuaciones diferenciales, que describen infinidad de procesos físicos como la dinámica de fluidos, de agujeros negros y huracanes, entre otras.

## Expertos internacionales en teoría de números se reunieron para recordar a Javier Cilleruelo

El congreso "[The Music of Numbers](#)" tuvo lugar en el ICMAT el pasado 20 de septiembre de 2017 y se desarrolló a lo largo de tres días. El encuentro fue un homenaje a Javier Cilleruelo un año después de su fallecimiento, en el que se expusieron diferentes temas del área de teoría de números, que fueron centrales en la investigación del profesor de la Universidad Autónoma de Madrid (UAM) y miembro del ICMAT.

La mayor parte de los [ponentes](#) fueron matemáticos que trabajaron con el investigador, como Harald Helfgott (Uni-

versidad de Göttingen, Alemania, y Centre National de la Recherche Scientifique, Institut de Mathématiques de Jussieu, Francia), Antonio Córdoba (UAM-ICMAT), Alain Plagne (École Polytechnique, Francia), Pablo Fernández (UAM), Julia Wolf (Universidad de Bristol, Reino Unido) y Florian Luca (Universidad de Witwatersrand, Sudáfrica), entre otros. Se trató la teoría de números desde el punto de vista de la combinatoria, el análisis y la probabilidad.

## AGENDA

### Actividades científicas en el ICMAT

[60 Years Alberto Ibort Fest - Classical and Quantum Physics: Geometry, Dynamics and Control](#)

**Fecha:** 5-9 de marzo de 2018.

[Research Term on Real Harmonic Analysis and Its Applications to Partial Differential Equations and Geometric Measure Theory](#)

**Fecha:** 7 de mayo - 9 de junio de 2018.

[Thematic program `L<sup>2</sup>-invariants and their analogues in positive characteristic`](#)

**Fecha:** 19 de febrero - 15 de junio de 2018.

### Actividades de divulgación en el ICMAT

[4º ESO + Empresa](#)

**Fecha:** 19, 20 y 21 de marzo de 2018.

**Jornada 11 de febrero, Día Internacional de la Mujer y la Niña en la Ciencia**

**Fecha:** 12 de febrero, a partir de las 10:00.

**Matemáticas en la Residencia**

**Fecha:** 22 de marzo, 19:30.

**Lugar:** Residencia de Estudiantes del CSIC (Madrid).

#### **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:**

Manuel de León  
Jared Aurentz  
Alberto Enciso  
Daniel Peralta-Salas  
Ágata Timón García-Longoria

#### **Coordinación:**

Ignacio F. Bayo  
Laura Moreno Iraola  
Ágata Timón García-Longoria

#### **Diseño:**

Fábrica de Chocolate

#### **Maquetación:**

Equipo globalCOMUNICA

#### **Traducción:**

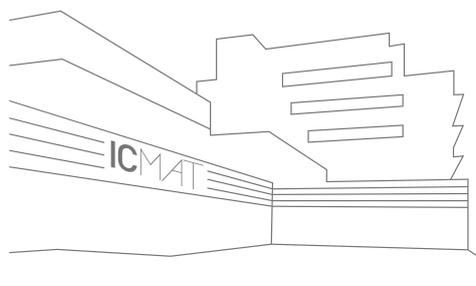
Jeff Palmer

#### **Redacción:**

Elvira del Pozo  
Laura Moreno Iraola  
Ágata Timón García-Longoria

# ICMAT

INSTITUTO DE CIENCIAS MATEMÁTICAS



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

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

