

EDITORIAL

Tercer reconocimiento a la excelencia del ICMAT

Imagen: ICMAT



Diego Córdoba

En el pasado mes de diciembre se publicó la resolución definitiva de la concesión del distintivo de Centro de Excelencia Severo Ochoa al ICMAT y a otros nueve centros de investigación españoles. Es la tercera vez consecutiva que el Instituto recibe el galardón, siendo el único del CSIC en alcanzar este hito. Esta distinción es una consecuencia de la destacada trayectoria del ICMAT, que con su gestión, actividades, obtención de proyectos competitivos –en especial, los concedidos por el Consejo Europeo de Investigación, ERC– y resultados científicos de los últimos años se ha situado entre los centros de investigación matemática más relevantes de Europa.

Los dos proyectos Severo Ochoa anteriores supusieron un profundo impacto en la vida científica del Instituto. Con ellos, se ha fortalecido la estructura interna y se han consolidado varios programas científicos que han demostrado generar y atraer, con gran éxito, talento matemático al centro. Entre ellos, destacan los Laboratorios Severo Ochoa liderados, en su segunda edición, por Kari Astala (Universidad de Helsinki, Finlandia), Ignacio Cirac (Instituto Max Planck de Óptica Cuántica, Alemania), Simon Donaldson (Imperial College, Reino Unido; y Centro Simons de Geometría y Física, EE. UU.), Nigel Hitchin (Universidad de Oxford, Reino Unido) y Charles Fefferman (Universidad de Princeton, EE. UU.).

También durante estos años, el ICMAT ha disfrutado de una intensa actividad científica, con gran impacto en la visibilidad internacional: de 2015 a 2019 el centro ha recibido aproximadamente a 750 visitantes, ha acogido más de 700 seminarios, 42 coloquios, 18 escuelas, 65 talleres y congresos y nueve programas temáticos.

Además, la financiación del distintivo Severo Ochoa ha intensificado la cohesión de las diferentes instituciones representadas en el ICMAT, especialmente a través de las becas de doctorado y seminarios conjuntos. Esto ha reforzado la posición de liderazgo del Instituto en el área de las matemáticas a nivel regional y nacional.

Ahora, enfrentamos esta nueva etapa con ilusión y con la perspectiva de mantener, e incluso de mejorar, el trabajo realizado

en años anteriores. Para ello, contamos con una financiación de un millón de euros anuales durante cuatro años y la dotación de 14 contratos predoctorales, además de poder optar a participar en programas post y predoctorales de la Fundación “La Caixa”.

Aunque 2020 ha sido un año singular, en el que hemos visto reducida drásticamente la actividad del centro por razones de salud, estoy convencido de que aprovecharemos el nuevo programa Severo Ochoa para retomar la intensidad de las actividades del Instituto. Disponemos de programas predoctorales (como las becas de máster, los contratos asociados al Severo Ochoa de tipo FPI y de “La Caixa” y la Escuela JAE), y programas postdoctorales (lanzaremos más de nueve contratos de dos años y tendremos la posibilidad de optar a la oferta de La Caixa). Además, mantendremos el programa de Laboratorios y Profesores Visitantes Distinguidos, el programa de seminarios, coloquios, congresos, workshops y escuelas, los programas temáticos y el programa de visitantes.

El proyecto Severo Ochoa refuerza, asimismo, la transferencia y, por supuesto, la política de divulgación proactiva realizada en los anteriores, con el objetivo de mejorar el perfil de las matemáticas en la sociedad, así como aumentar el número de estudiantes y de mujeres en matemáticas.

Diego Córdoba es director científico del proyecto Severo Ochoa del ICMAT.

CONTENIDOS

Editorial: Diego Córdoba (ICMAT).....	01
Reportaje: Las matemáticas de los agujeros negros..	02
Entrevista: Martin Bridson (Universidad de Oxford, Reino Unido).....	05
She Does Maths: María Xosé Rodríguez-Álvarez (Basque Center for Applied Mathematics).....	09
Perfil: Álvaro Romaniega (ICMAT).....	11
Entrevista: Nuria Oliver (Data-Pop Alliance, Vodafone Institute y ELLIS).....	12
Reseña: El problema de Dirichlet para la ecuación de Laplace.....	15
Reseña: $SO(p, q)$ -fibrados de Higgs y componentes superiores de Teichmüller.....	16
Noticias ICMAT.....	18
Agenda.....	23

REPORTAJE: Agujeros negros: cuando las matemáticas alumbran lo que no se ve

El Premio Nobel de Física 2020 ha reconocido la labor del matemático y físico Roger Penrose en la predicción de la existencia de agujeros negros. En concreto, el jurado destaca las matemáticas que hicieron posible demostrar que la formación de un agujero negro es una predicción sólida de la teoría de la relatividad general. Las teorías que el investigador publicó en 1965 han sido validadas experimentalmente por Andrea Ghez y Reinhard Genzel, con quienes ha compartido el galardón, al descubrir un objeto invisible super masivo en el centro mismo de nuestra galaxia. Primero el teorema y luego la evidencia. Las matemáticas han actuado de avanzadilla de la física, señalando lo que era imposible ver. Han sido una herramienta clave en los más de dos siglos que ha necesitado este corpúsculo exótico en ser tomado en serio, y son una punta de lanza para resolver las muchas incógnitas que todavía plantea.

Elvira del Pozo

Sabemos que un agujero negro es una región del universo que tiene un campo gravitacional tan grande que ni siquiera la luz puede escapar de él, así que es invisible a nuestros ojos. Igual que los escombros delatan que en ese lugar una vez se levantó un gran edificio, estos corpúsculos oscuros parece que fueron un día estrellas enormes, que colapsaron sobre sí mismas debido a su gran masa. Además, esconden un secreto: justo en su centro, la mecánica cuántica y la gravedad actúan de manera conjunta, ¡el sueño de la unificación de la física hecho realidad!

Las matemáticas se enfrentan a esta y otras muchas incógnitas intentando volver a ser las pioneras en su resolución. Hace más de 50 años mostraron convincentemente por primera vez la existencia de estos cuerpos exóticos, lo que ha sido reconocido con el Nobel de Física de 2020.

Pero la historia de los agujeros negros se remonta muchos años atrás. Aunque suelen asociarse a la física de Einstein, ya en 1783, el reverendo, geólogo y astrónomo inglés John Michell hizo una predicción teórica sobre su existencia. "Deben existir en la naturaleza cuerpos cuya densidad no es inferior a la del Sol, y cuyos diámetros son más de 500 veces el diámetro del Sol... toda luz emitida por ese cuerpo volvería hacia él por efecto de su propia gravedad... y nunca llegaría a nosotros", expresaba en uno de sus escritos. Estas "estrellas oscuras", como él las bautizó porque no se podían ver, son las precursoras newtonianas de los agujeros negros. Michell también propuso una manera de detectarlas en aquellos casos en los que formaran sistemas estelares binarios con compañeras visibles, de tal manera que en el comportamiento de éstas últimas se detectaría la influencia gravitatoria de su vecina oculta.

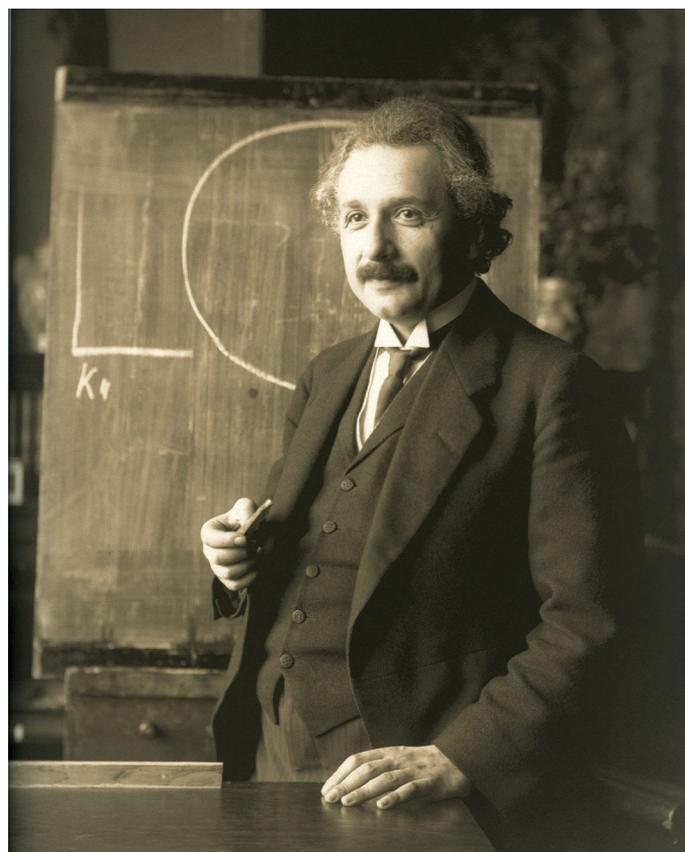
También a finales del mismo siglo XVIII, en 1796, el matemático francés Pierre-Simon Laplace insistió en la misma idea. "En el cielo hay cuerpos oscuros quizá tan grandes y numerosos como las estrellas mismas". Después, el silencio: la comunidad científica supuso que se trataba de una extravagancia demasiado exótica como para darle importancia. Hasta que siglo y medio más tarde apareció Albert Einstein.

Un modelo para todo

En 1915, el físico alemán imaginó un universo en el que todo objeto está suspendido sobre una red espacio-temporal de cuatro dimensiones (las tres del espacio y la del tiempo) que se curva por el efecto de la gravedad, que crean la masa y la energía. El espacio-tiempo dejó de ser un simple escenario para convertirse en el principal actor, el responsable del movimiento de los cuerpos. Así, una estrella obliga a los planetas a seguir la deforma-

ción que ella misma provoca en la malla que los sostiene a todos. Como una pelota girando en una ruleta.

Todo el mundo físico a gran escala quedó descrito por la teoría general de la relatividad, un modelo matemático compuesto por un sistema de diez ecuaciones en derivadas parciales no lineales que relacionan la curvatura del espacio-tiempo con la materia responsable de la atracción gravitacional. Einstein corregía así los errores de la hasta ese momento vigente explicación de Newton que suponía, por ejemplo, que entre la Tierra y el Sol había una atadura invisible que mantenía al primero en órbita sobre el segundo. Pero al físico solo le dio tiempo a mostrar esos mimbres, y no ofreció ninguna solución exacta. Obtener valores numéricos para los cuales la igualdad sea cierta en las ecuaciones de Einstein es de una dificultad tan enorme que a día de hoy solo se conocen unos pocos centenares de soluciones.



Einstein, seis años después de publicar su Teoría de la Relatividad.

Desde entonces, los matemáticos han trabajado para encontrar dichas soluciones con éxito notable, aunque parcial. “Se trata de una teoría fuertemente geométrica, para entenderla se requieren herramientas de la geometría diferencial y, desde hace menos tiempo, de las ecuaciones en derivadas parciales”, explica el investigador del ICMAT, Alberto Enciso. También hay que tener en cuenta que “la relatividad involucra aspectos clásicos y cuánticos, y estos últimos matemáticamente todavía no se comprenden de forma adecuada”, señala.

Desde la trinchera

El mismo año de la publicación de su hazaña, Einstein recibió dos cartas desde el frente de la Primera Guerra Mundial. Las firmaba el físico y matemático Karl Schwarzschild, terminal, desde la cama de un hospital de campaña. En ellas, proponía la primera solución no trivial de la teoría general de la relatividad. Conocida como la métrica de Schwarzschild, describe el espacio-tiempo y la gravedad generada por una estrella o una masa perfectamente esférica; también por un agujero negro, si se cumplen determinadas condiciones. El científico supuso que si la masa de una estrella era muy grande y que se comprimía en un volumen cada vez más pequeño, la región del espacio-tiempo a su alrededor se curvaría cada vez más hasta que, finalmente, se convertiría en un pozo sin fondo del cual nada, ni siquiera la luz, podría escapar. En estos casos, es razonable pensar que se pueda dar lugar a la formación de un agujero negro.

La razón de que escogiera como objeto de estudio corpúsculos esféricos fue por simplificar la resolución de las ecuaciones. “Lo natural es tratar el cuerpo como una partícula puntual, sin carga y suponerlo estático, algo que le libra a uno de muchos quebraderos de cabeza porque aun hoy tenemos muchos problemas matemáticos básicos sin resolver cuando los agujeros negros no son estáticos”, explica Enciso. Eso le permitió obtener una solución pero complicó su reconocimiento.

Matemáticamente, Schwarzschild encontró que alrededor de cuerpos masivos muy pequeños, hay una región donde la métrica no presenta dificultades, y otra donde la interpretación de la solución es más complicada. La superficie de transición entre estos regímenes viene dada por el horizonte de sucesos; y en el origen existe una singularidad, donde la curvatura explota”, comenta Enciso.

Aunque el propio Einstein y la comunidad científica alabaron la solución de Schwarzschild, consideraron improbable que hubiera realmente estrellas perfectamente esféricas en la naturaleza y descartaron, por tanto, la posibilidad de semejantes corpúsculos oscuros. Además, si hubiera alguna, sería difícil de demostrar su existencia, pues sería invisible. En 1916, Schwarzschild moría en el frente con 42 años.

En 1930, el físico Subrahmanyan Chandrasekhar sugirió que los astros con masa por encima de 1,5 veces la de nuestro sol, colapsarían sobre sí mismos debido a la acción de la gravedad hasta reducirse a algo muy denso. Nueve años más tarde, en 1939, el físico teórico estadounidense Robert Oppenheimer desarrolló un modelo de colapso, con el cual demostró que un cuerpo ideal con una simetría perfecta colapsaría sobre sí mismo indefinidamente. Esto es lo que le pasaría a las estrellas masivas, después de finalizar sus procesos termonucleares.

Otro punto de vista

En 1963, el matemático neozelandés Roy Kerr generalizó la métrica de Schwarzschild a un cuerpo giratorio –no estático-. Y dos años más tarde, la métrica de Kerr-Newman extendía la teoría a corpúsculos cargados. Estas soluciones fundamentaban la exis-

tencia de agujeros negros, ahora también en movimiento, pero todavía provenientes de estrellas perfectamente esféricas.

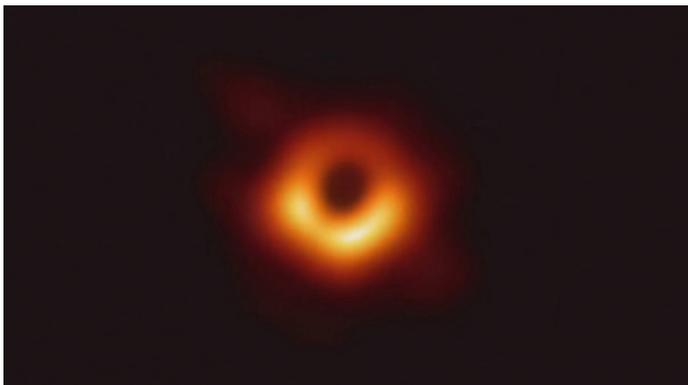
Por entonces, el físico y matemático Roger Penrose andaba pensando si se podría de alguna manera soslayar la hipótesis de simetría esférica perfecta. “Lo que se había hecho hasta ese momento era resolver complicadas ecuaciones y eso no es buena idea si lo que quieres es introducir irregularidades, porque entonces, simplemente, no puedes resolverlas”, explicaba en una entrevista que le hizo en 1999 el también matemático y físico teórico, y miembro del ICMAT, Oscar García-Prada para la revista Gaceta Matemática. Así que abordó el problema “desde un punto de vista totalmente diferente, que consistía en mirar las cuestiones generales, básicamente cuestiones de tipo topológico, que permitían obtener una contradicción de la hipótesis de que tuviera lugar el colapso sin que hubiera singularidades”, prosigue.

Según explica García-Prada, “Penrose utilizó herramientas de la geometría diferencial global, una rama que combina la geometría con el cálculo, y que tiene en cuenta cuestiones topológicas: no sólo se estudia qué pasa cerca de un punto sino también los elementos de todo el espacio”. Por ejemplo, en el caso de analizar la superficie de una pelota y la de un donuts, si sólo se observa qué sucede en el entorno cercano de un punto concreto en ambas áreas, el comportamiento es indistinguible; sin embargo, globalmente son muy distintas.

Y así, en 1967, Penrose, junto a Stephen Hawking, partiendo de las ecuaciones de la relatividad de Einstein y utilizando técnicas de análisis matemático y topología diferencial, demostró que no era necesario asumir ninguna simetría para obtener las soluciones correspondientes a agujeros negros. Mediante un teorema matemático (teorema de singularidad de Penrose) mostró que el colapso se produciría y que, por tanto, los agujeros negros se formarían en unas determinadas condiciones bastante generales.



Roger Penrose en 2011



En 2019 se fotografió por primera vez un agujero negro, situado en el centro de la galaxia M87, a 55 millones de años luz, y con una masa de 6.500 millones veces la del Sol.

Años más tarde, Hawking sugirió que los agujeros negros quizás no lo fueran tanto, pues emiten radiación (radiación de Hawking) más allá del horizonte de sucesos consecuencia de procesos cuánticos. Por este motivo, el agujero negro iría perdiendo masa y hasta podría evaporarse del todo. El famoso físico también publicó el segundo gran teorema de singularidades basándose en las herramientas que había utilizado Penrose y demostró que otra singularidad del espacio-tiempo sería la que dio origen al Universo.

“La aportación importantísima de los teoremas de Penrose y Hawking es que con argumentos extraordinariamente sencillos, sin simetrías, demostraron que cuando se dan condiciones de positividad de energía y si la estructura causal del espacio-tiempo es razonable (en referencia a la paradoja del abuelo, por la que tú no podrías viajar en el tiempo para matar a tu abuelo antes de haber nacido) parece acertado pensar que habitualmente se forman singularidades en el espacio-tiempo”, explica Enciso.

Ambos teoremas de singularidades “se pueden incluir en un mismo paquete que viene a expresar que el espacio-tiempo es geodésicamente incompleto”, señala García-Prada. Esto sugiere que el espacio-tiempo, en algún momento se acaba.

Por su demostración de que la formación de agujeros negros se deduce directamente de la teoría general de la relatividad de Albert Einstein, Penrose recibió el Nobel de Física de 2020. Aunque, como enfatiza García-Prada, “se trata de un premio para las matemáticas y, en concreto, para la geometría diferencial”.

La evidencia

En una de las primeras entrevistas que concedió Penrose tras conocer que había recibido el galardón, le preguntaron si creía que de haber estado vivo Hawking también habría ganado el premio, en su caso por su teorema de las singularidades del *Big Bang*. Su respuesta fue que “posiblemente no”. García-Prada opina en la misma dirección: “mientras que hay evidencia experimental de los agujeros negros –en parte, gracias a los trabajos de Reinhard Genzel y Andrea Ghez, los otros dos galardonados–, no la hay del *Big Bang*”.

“Hacer teorías es fácil porque el papel aguanta lo que le echas y los modelos que puedes escribir son más o menos consistentes, pero hacen falta evidencias”, sentenciaba en una entrevista Juan Pérez Mercader, experto en física aplicada a la astrofísica y cosmología, y fundador del Centro de Astrobiología. En definitiva, “el Premio Nobel es la combinación de un trabajo matemático hecho hace 55 años y una experimentación física, que confirma las matemáticas”, señala García-Prada.

Problemas abiertos

“El problema de matemáticas más importante que tenemos en relación a los agujeros negros es la hipótesis del censor cósmico, también debida a Penrose”, explica Enciso. En estos teoremas de singularidad hay una hipótesis que todavía se desconoce si es cierta o no: la censura cósmica. Penrose supuso que la razón de por qué no podemos ver la singularidad que hay en el corazón del agujero negro es porque está revestida y oculta con el horizonte de sucesos, que no permite que salga ninguna información de allí. “Las singularidades desnudas son más agresivas para los observadores que los agujeros negros”, puntualiza el investigador. El consenso general es que genéricamente no deben ocurrir.

Otra incógnita es sobre lo que puede suceder en el interior de un agujero negro. Parece fuera de duda que se trata de una zona donde hay mucha materia ocupando un espacio muy pequeño, donde reinan las interacciones cuánticas. Una consecuencia de la existencia de las singularidades demostrada por Penrose es que “marca el punto donde se hace precisa otra física, donde se encuentra la teoría cuántica con la relatividad general y donde intervienen juntas porque las cosas son, a la vez, pequeñas y masivas”, explicaba Penrose a García-Prada. El problema es que ambas teorías se contradicen. “No se trata de cuantizar la relatividad general, la gravedad y el espacio-tiempo; se requiere una nueva teoría, la gravedad cuántica”, puntualizaba Penrose. La solución no es evidente, genera mucha controversia y, además, fue un tema en el que él y Hawking tenían opiniones distintas. Como añade Enciso, “las matemáticas no saben cómo enfrentarse a la gravitación cuántica; ni siquiera saben del todo cómo hacerlo con las teorías cuánticas de campos normales”.

También, hay “problemas de estabilidad, como determinar si el espacio-tiempo de Kerr es estable o no. Hay un teorema matemático que nos dice, bajo ciertas hipótesis, qué agujeros negros existen, aunque no sabemos qué sucede si alguno de ellos se mueve”, señala Enciso. “Otro tema es que los físicos tienen imágenes espectaculares de cómo podrían fusionarse dos agujeros negros pero matemáticamente no sabemos cómo sucede”, prosigue.

“Muchos de estos problemas conectan con diversas áreas de las matemáticas como ecuaciones dispersivas, análisis armónico, análisis geométrico y geometría compleja. Todos ellos muy interesantes”, concluye Enciso.



Karl Schwarzschild en su despacho de Postdam (Alemania)

ENTREVISTA: Martin R. Bridson, catedrático en la Universidad de Oxford, presidente del Instituto Clay de Matemáticas y miembro del Comité Externo de Asesoramiento Científico del ICMAT

“Todo el mundo siente que no va a ser capaz de demostrar nada cuando es estudiante de doctorado”

Martin R. Bridson es una de las figuras de referencia en la teoría geométrica de grupos, donde se unen el álgebra, la geometría y la topología. Llegó a esta área cuando apenas estaba comenzando a definirse como tal, aún como estudiante de doctorado en la Universidad de Cornell (EE. UU.), inspirado por el trabajo de Mijaíl Grómov. Con los años, contribuyó a establecer sus fundamentos y a resolver importantes problemas del campo y de otros adyacentes. En constante búsqueda de nuevas matemáticas que le emocionen, durante los últimos 15 años su interés se ha centrado en los grupos profinitos. Bridson, que ocupa la Cátedra Whitehead de Matemáticas Puras en la Universidad de Oxford (Reino Unido), es también presidente del Instituto Clay de Matemáticas, lo que le ofrece la oportunidad de estar al tanto de los avances más relevantes de la disciplina. Entre sus reconocimientos destacan el premio Whitehead Prize de la London Mathematical Society (1999), el premio Wolfson Research Merit de la Royal Society (2012) y el premio Steele de la American Mathematical Society (2020). Además, es uno de los ocho miembros del Comité Externo de Asesoramiento Científico del ICMAT. El pasado mes de noviembre hablamos con él a través de una plataforma de reuniones *online*, un medio que considera que puede contribuir a democratizar las matemáticas.

Ágata Timón García-Longoria

¿En qué momento empezaron a interesarle las matemáticas?

Siempre me interesaron de forma natural y en la escuela me encantaban. En algún momento me di cuenta de que algunas de las cosas que para mí eran obvias no lo eran para el resto, así que entendí que se me daban bien. A partir de los 15 o 16 años estaba convencido de que quería aprender todas las matemáticas que pudiera, por lo que tenía claro que es lo que estudiaría en la universidad. Sin embargo, no supe que quería dedicarme a la investigación en matemáticas hasta mucho después, porque no tenía referentes de investigadores, ni conocía a nadie que trabajase en la academia. Viniendo de un entorno de clase trabajadora, me imaginaba que terminaría la universidad, conseguiría un buen trabajo en una oficina y tendría una vida normal. Fue a la mitad de la carrera cuando entendí la posibilidad de hacer de las matemáticas una forma de vida. Entonces empecé a percibir lo amplia que es la disciplina y cómo de rápido te encuentras con problemas abiertos. Fue entonces cuando la investigación se convirtió en una opción natural para mí. Después de todos estos años, estoy muy contento de haberme decantado por esta vía, las matemáticas me siguen emocionando.

Tras terminar el grado en Oxford, realizó el doctorado en la Universidad de Cornell, ¿por qué decidió trasladarse allí?

Siempre había querido viajar por el mundo y, además, me enteré de que en Estados Unidos era posible conseguir una plaza de ayudante mientras hacía el doctorado, así que no necesitaría dinero para completar la tesis. Solicité varias becas, pero era tarde, hasta la primavera de mi último año en Oxford no me había decidido por el doctorado y se habían pasado todos los plazos. Hablé con gente de mi universidad y me dieron una lista de lugares en EE. UU. donde había personas que estaban haciendo el tipo de matemáticas que a mí me interesaban en aquel momento. Les escribí y algunos contestaron, entre ellos, Jim West, de la Universidad de Cornell.

¿Cuáles eran esas matemáticas que le interesaban en aquel momento?

Una combinación de análisis funcional y topología clásica, en concreto, unos objetos llamados variedades cúbicas de Hilbert, sobre los que West había obtenido un gran teorema. Pero cuando llegué cambiaron mucho mis intereses. Conocí a gente muy interesante que se dedicaba a un tema del que nunca había oído hablar: topología de dimensión baja. Me pareció que en ese campo estaban sucediendo las cosas más emocionantes del momento.

¿Qué recuerda de aquel periodo?

Mucha emoción. En primer lugar, aprender sobre topología de dimensión baja y sobre grupos fundamentales. Las notas de Andrew Casson sobre automorfismos de superficies fueron una gran influencia para mí, me hicieron interesarme por el papel de los grupos en topología de dimensión baja. Los grupos que más me atraen son los que aparecen en la topología, como el grupo fundamental

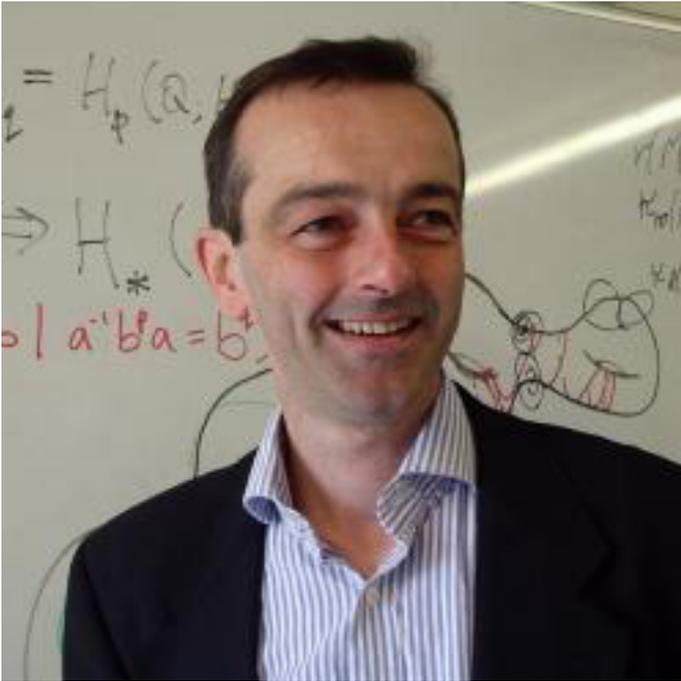
“El ensayo sobre grupos hiperbólicos de Mijaíl Grómov supuso un antes y un después en mi vida”

de un espacio o las simetrías de objetos geométricos. También fueron importantes las notas de William Thurston sobre variedades

de dimensión tres y el trabajo de John Stallings, uno de los fundadores de la teoría geométrica de grupos. Empecé el doctorado bajo la supervisión de Karen Vogtmann, que estudiaba automorfismos de grupos libres, motivada por comparaciones a la topología de dimensión baja y la geometría.

Aquellos fueron los comienzos de la teoría geométrica de grupos, ¿cómo llegó al campo?

En aquel entonces no existía el área de la teoría geométrica de grupos como tal, no tenía nombre, la gente hablaba de métodos topológicos en teoría de grupos, y Stallings era la figura de referencia. Pero entonces, Mijaíl Grómov escribió su ensayo sobre los grupos hiperbólicos. Vogtmann me sugirió que lo leyera, y



Martin Bridson es uno de los ocho miembros del Comité Externo de Asesoramiento Científico del ICMAT.

supuso un antes y un después en mi vida. Dedicué todo un año a estudiarlo, tratando de entenderlo. No se parecía a nada que hubiese leído antes, estaba repleto de inspiración. Tenía muchas más ideas que demostraciones, faltaban muchos detalles, así que al comienzo fue frustrante leerlo, me sentía estúpido. Pero entonces empecé a entenderlo y aquellas ideas fueron una enorme inspiración. Una gran parte de mi tesis se dedica a resolver una página del ensayo, en la que Grómov decía que ciertas cosas eran ya conocidas y fáciles de demostrar, pero no lo eran y, de hecho, no eran ciertas tal y como estaban planteadas. Si ajustabas un poco las hipótesis, entonces sí; la idea era acertada, pero los detalles fallaban. Aquel fue mi primer teorema.

¿Cómo recuerda aquellas primeras experiencias de investigación?

Había un elemento de miedo a que nada fuese a funcionar. Es algo de lo que trato de convencer a mis estudiantes de doctorado; todo el mundo que conozco, si es honesto, admitirá que sintió como estudiante de doctorado que las cosas no iban a salir, que no iba a ser capaz de demostrar nada, que igual era un buen estudiante de Matemáticas, pero eso no significaba que pudiera crear matemáticas nuevas. Desde luego, yo lo sentí, y, aun así, seguía fascinado por las matemáticas y me resultaban emocionantes. Creo que mantener la emoción por ellas es muy importante, en todas las etapas de la carrera, pero sobre todo en el doctorado.

Su primer teorema tuvo un impacto significativo en la comunidad, ¿cómo fue aquello?

Fue un gran impulso para seguir adelante. Fue un comienzo estupendo, porque Stallings y André Haefliger estaban interesados en si aquel hecho concreto era cierto o no: la existencia de geodésicas en complejos simpliciales localmente infinitos. Su motivación en esa cuestión tenía que ver con acciones de grupos y teoría de grupos.

¿Qué tipo de problemas motivaron los comienzos de la teoría geométrica de grupos?

Puedes encontrar muchas de las ideas de la teoría geométrica de grupos moderna en artículos de Henri Poincaré y Max Dehn. Poincaré trata muchos temas, pero la conexión entre el grupo fundamental y la geometría hiperbólica aparece en los trabajos de Dehn, así como la idea de que la geometría hiperbólica se puede estudiar con grupos. Este también reconoció la importancia de los algoritmos para decidir cuestiones sobre grupos. Por ejemplo, él quería clasificar nudos y se dio cuenta de que podía hacerlo resolviendo un problema sobre el grupo fundamental del nudo. Escribió artículos fantásticos explicando que resolver aquellos problemas sobre nudos era equivalente a resolver problemas de grupos finitamente presentados.

Y a partir de aquello, ¿cómo empezó la teoría geométrica de grupos moderna?

Alfred North Whitehead y después Stallings empezaron a pensar en términos topológicos sobre los automorfismos de grupos libres, lo que fue muy importante. Entonces, entró Gromov en escena. Tenía muchas ideas propias pero también lo que había aprendido en su paso por la escuela de geometría de San Petersburgo, con Pável Alexandroff. Así que tomó todas aquellas ideas sobre geometría métrica, muchas otras sobre geometría diferencial y las combinó. Vio cómo las ideas clásicas de Dehn y Poincaré encajaban a la perfección con las de la escuela rusa de geometría métrica y, en particular, se dio cuenta de la importancia de la curvatura negativa y no positiva. Ya hay indicios de aquello en Dehn, pero fue Gromov quien se centró en ello. Su ensayo convirtió una nueva perspectiva sobre la teoría de grupos en una disciplina propia, con su propia teoría y grandes preguntas. Aportó estructura y aquello pasó de ser unas pocas ideas dispersas a una teoría coherente.

Usted también se ha interesado recurrentemente por la curvatura negativa y no positiva, ¿de qué manera aparece este concepto en su trabajo?

Uno de los temas que siempre me ha interesado es la forma en la que la curvatura negativa y no positiva emerge de forma natural en todo tipo de situaciones, donde no lo esperarías. Si la reconoces y eres capaz de hacer las definiciones adecuadas, puedes usarla para probar cuestiones muy interesantes. Por ejemplo, puedes verificar que ciertas condiciones se cumplen de forma local y deducir que son ciertas en una escala global. Es una forma de pensar poderosa, que te permite resolver problemas que, a priori, no tienen nada que ver con curvatura negativa y no positiva.

“Si reconoces la curvatura negativa o no positiva y haces las definiciones adecuadas, puedes usarla para probar cuestiones muy interesantes”

¿De qué manera entiende usted la curvatura negativa?

La primera vez que oí hablar de curvatura fue en un curso de geometría diferencial, y se definía a partir de cálculos de tensores. Yo era capaz de calcularla de esa manera, pero aquello no me daba una idea clara de lo que era la curvatura. Creo que una mejor manera de entenderlo es a través de la geometría hiperbólica: dibujando líneas y triángulos, calculando áreas, sintiendo el espacio. Te imaginas en un espacio y miras siguiendo dos rayos de luz; la curvatura determina cómo divergen. En un espacio euclidiano, dos rayos que salen de un punto divergen de forma lineal; en una esfera –es decir, un espacio de curvatura positiva–, las rectas se convierten en geodésicas y divergen más

lentamente; en un espacio hiperbólico, de curvatura negativa, las geodésicas se separan extremadamente rápido. Otra manera de verlo es que los triángulos formados por geodésicas son muy finos. También, si tomas una curva cerrada y la quieres rellenar con un disco, el área del disco está acotada por una función lineal de la longitud de la curva –en el espacio euclidiano la función es cuadrática–. En todos los espacios de curvatura negativa aparece alguna manifestación de estas tres propiedades.

¿Y la curvatura no positiva?

Dicho de forma no técnica, es cuando el espacio tiene cierto comportamiento euclídeo y cierto comportamiento de curvatura negativa. Significa, principalmente, que puedes tomar productos cartesianos.

¿Cuáles han sido sus principales aportaciones en este tema?

Me han interesado principalmente dos cuestiones. En primer lugar, los fundamentos, es decir, cómo hacer la teoría lo más rigurosa posible. Hace 20 años escribí un libro con Haefliger sobre espacios de curvatura no positiva, en el que quisimos precisar las ideas y darles un tratamiento claro, para que la gente pudiera aprender sobre curvatura no positiva y usarla. Por otro lado, me ha interesado buscar técnicas para construir nuevos espacios, que después podía emplear para responder preguntas sobre grupos. Por ejemplo, he resuelto problemas sobre grupos, usando el hecho de que eran el grupo de simetría de espacios con curvatura no positiva. Me ha interesado determinar qué grupos actuaban como simetrías en espacios con curvatura no positiva.

La teoría de grupos es el lenguaje de la simetría. ¿Por qué es tan importante la simetría en matemáticas?

Creo que hay dos razones principales: la belleza de los objetos simétricos y el poder que otorga usar las simetrías para simplificar problemas complicados, por ejemplo, para transformar problemas infinitos en problemas finitos y más manejables. Si eres capaz de identificar, en un espacio infinito, un dominio fundamental que puede ser trasladado por simetrías y cubrir todo el espacio, puedes estudiar solo ese dominio reducido y las simetrías para entender el espacio total. La clave es entender el sistema de simetrías, que vendrá codificado por un grupo. Por eso la teoría de grupos es tan central en tantas áreas de las matemáticas.

Por otro lado, usted también ha estudiado la complejidad, ¿de qué manera?

He querido entender qué significa que un problema sea difícil, de forma precisa. Para ello, hay que ver cómo cuantificar esa dificultad. Esto te obliga a entender el problema de forma profunda. Por ejemplo, en dimensiones superiores a cinco, no hay un algoritmo que determine si una variedad dada es homeomorfa a la esfera. En principio, creemos que sabemos qué es una esfera pero lo cierto es que no somos capaces de reconocerla, así que no podemos decir que sepamos qué es.

En los últimos años ha habido avances espectaculares en el campo de la teoría geométrica de grupos, ¿podría mencionar alguno de ellos?

Una de las cosas interesantes de la teoría geométrica de grupos es que conecta diferentes campos de las matemáticas; ha

llegado a ser tan importante precisamente porque sirve para resolver problemas de otras áreas. Un buen ejemplo de esto es la interacción con la teoría de variedades de tres dimensiones. En particular, el trabajo de Ian Agol y Daniel Wise, que demuestra que cualquier variedad hiperbólica de dimensión tres tiene un recubrimiento de grado finito que es un fibrado de una superficie sobre el círculo. Para probarlo, trasladaron el problema a la teoría geométrica de grupos, construyendo

“Me ha interesado construir una teoría lo más rigurosa posible sobre los espacios de curvatura no positiva”

complejos cúbicos $CAT(0)$. También cabe destacar el estupendo trabajo de Frédéric Haglund y Wise sobre los complejos cúbicos $CAT(0)$. Estos son objetos sobre

los que yo he estado pensando desde que era un estudiante de doctorado, y Wise, que fue mi estudiante de doctorado, ha realizado un trabajo impresionante sobre ellos.

Por el momento, ha tenido 14 estudiantes de doctorado, ¿le gusta esa labor?

Sí. Creo que es muy importante pasar tiempo con estudiantes de doctorado y transmitirles ideas de largo alcance. Todo matemático tiene más ideas que tiempo para desarrollarlas en artículos, así que es importante transmitirlas y que otros trabajen en ellas.

¿Cuáles son los principales retos del campo actualmente?

Hay muchos. Por ejemplo, aunque sabemos muchas cosas de los grupos hiperbólicos, no sabemos si todos son residualmente finitos, y es una cuestión importante. Otra es si esencialmente todos los grupos hiperbólicos contienen subgrupos de superficie. Yo solía pensar que la respuesta a esas dos preguntas era negativa, pero recientemente se ha demostrado que un gran número de grupos hiperbólicos cumple ambas propiedades, lo que muestra que hay algo profundo que aún no hemos entendido sobre el tema. Otra cuestión relevante, en otra dirección totalmente diferente, es si todos los grupos finitamente generados son sóficos. De nuevo, yo creo que la respuesta es negativa, pero es muy difícil encontrar contraejemplos, lo que señala de nuevo que hay consideraciones subyacentes relevantes.

¿Está trabajando usted en algunos de estos problemas?

Los tengo presentes, pero lo que centra mi atención en este momento es la rigidez profinita, es decir, hasta qué punto ciertos grupos, de interés geométrico, están determinados por sus imágenes finitas. Me interesa porque es un problema que permite trabajar con diferentes tipos de matemáticas.

“Una de las cosas interesantes de la teoría geométrica de grupos es que conecta diferentes campos de las matemáticas”

¿Cómo llegó al tema de los grupos profinitos?

Me empezó a interesar mucho el tema a través de una colaboración con Fritz Grunewald. Este

me habló de una lista de problemas propuestos por Alexander Gröthendieck sobre representaciones y compleciones profinitas. Los grupos profinitos también tienen raíces en la geometría, aunque no tienen nada que ver con los grupos que yo había estudiado hasta el momento. Necesitas unas matemáticas completamente diferentes para entenderlos, lo que me ofreció una oportunidad estupenda de aprender cosas nuevas.

¿Qué problemas concretos ha estudiado sobre los grupos profinitos?

Uno de ellos ha sido saber hasta qué punto entender todos los cocientes finitos de un grupo profinito permite entender el grupo infinito en sí. Es un problema natural, desde el punto de vista algebraico, pero conecta con cuestiones muy emocionantes de topología de bajas dimensiones. En concreto, se relaciona con comprender cómo se construyen recubrimientos de grado finito o, dicho de otro modo, entender el índice finito de subgrupos de grupos. A priori pensarías que estos dos problemas no tienen nada que ver, pero no, están relacionados de una manera fundamental. Para resolver este problema –que aparentemente no tiene nada que ver con la curvatura no positiva– utilicé muchas de las cosas que había desarrollado sobre curvatura no positiva. De alguna forma, todo en lo que había pensado hasta entonces se usa para resolver ese problema.

También ha ocupado puestos directivos en algunos de los centros de investigación matemática más importantes del mundo: director del Instituto de Matemáticas de Oxford de 2015 a 2018, y, ahora, presidente del Instituto Clay de Matemáticas, ¿qué ha aprendido de estas experiencias?

Todos decimos ser matemáticos porque nos encanta hacer matemáticas, pero también necesitamos estructuras para asegurarnos de que haya oportunidades para seguir haciendo matemáticas en el futuro. Creo que es importante que estos roles de liderazgo sean asumidos por personas apasionadas por la disciplina, que busquen mejorar su situación. Dicho esto, la gestión de un instituto conlleva mucha frustración, pero también ofrece cosas gratificantes, como la oportunidad de entender otras áreas de las matemáticas y contemplar un panorama general del campo. Tienes que saber dónde se están produciendo los avances más interesantes y cuáles son los importantes para la evolución de la disciplina. Como director del Instituto de Oxford pude apreciar muchas cosas interesantes que estaban sucediendo en las matemáticas aplicadas y seguramente esto es algo que no hubiera visto como catedrático de matemáticas puras.

“Es muy importante pasar tiempo con estudiantes de doctorado y transmitirles ideas de largo alcance”

¿Cuál diría que ha sido su principal contribución a estas instituciones?

Cuando era director del Instituto en Oxford, comenzamos un programa de máster independiente que nos permitió traer a los mejores estudiantes de todo el mundo a Oxford; antes solo estaba abierto a nuestros propios estudiantes universitarios. Otra cuestión relevante fueron las contrataciones que decidí realizar. Y, por otro lado, fomentar la conversación entre matemáticas puras y aplicadas, transmitir la visión de que es una disciplina continua, que va desde los fundamentos hasta las aplicaciones inmediatas. En el Instituto Clay lo más importante es apoyar las mejores matemáticas que se están haciendo, sin consideraciones nacionales o políticas. Para ello, se requieren mecanismos que reconozcan la excelencia y que la doten de recursos.

¿Cómo ha afectado la pandemia de COVID-19 al Instituto Clay?

Muchas de nuestras actividades habituales, como la financiación de congresos y escuelas, se han reducido por la pandemia. Pero también aparecen nuevas oportunidades para llevar la excelencia en matemáticas a más personas, porque todos hemos aprendido a comunicarnos de forma remota. Ahora una persona en cualquier país puede dar un seminario en una universidad de cualquier otro lugar del mundo muy fácilmente. También podemos poner en marcha mecanismos mediante los cuales investigadores de primer nivel puedan guiar grupos de investigación en países que actualmente no tienen muchos recursos para financiar matemáticas fundamentales.

En general, ¿qué impacto cree que tendrá la pandemia en la investigación matemática?

Creo a partir de ahora viajaremos menos. Y los seminarios no se limitarán a incluir solo oradores de forma presencial, sino que incluirá gente desde cualquier otro lugar del mundo. El gran beneficio de esto es que todo el mundo tendrá acceso a las conversaciones más emocionantes y a las ideas más importantes del momento en matemáticas. Habrá una democratización de las matemáticas. Pero, por otro lado, la importancia de juntarse y de las interacciones casuales que se dan en persona permanecerán. Así que será importante seguir manteniendo congresos presenciales, aunque serán menos.

“Como director de un instituto de matemáticas tienes la oportunidad de contemplar un panorama general de la disciplina”

SHE DOES MATHS: María Xosé Rodríguez-Álvarez, Ikerbasque Research Fellow en el BCAM

Campos de investigación: estadística aplicada a la biomedicina y a la agricultura.

Laura Moreno Iraola

“Elegí dedicarme a la estadística por ser una de las ramas de las matemáticas con mayor aplicación directa a una gran variedad de situaciones y áreas diferentes. Lo que buscaba era poder aplicar lo que estudiaba a intentar resolver problemas del mundo real”, cuenta [María Xosé Rodríguez-Álvarez](#), Ikerbasque Research Fellow en el Basque Center for Applied Mathematics (BCAM) de Bilbao.

En los últimos años, esos problemas a los que hace referencia han sido, en su mayor parte, en el campo de la agricultura. Precisamente, en este contexto ha desarrollado uno de los resultados de los que más orgullosa se siente. En colaboración con investigadores e investigadoras de la Universidad de Wageningen (Holanda), ha puesto en marcha un proyecto, aún activo, sobre el “desarrollo de nuevos métodos estadísticos y modelos espaciales que permitan separar adecuadamente cuánto del comportamiento que se observa en un experimento de campo se puede atribuir a la genética y cuánto al medio ambiente o al entorno, de tal manera que la selección de las mejores variedades vegetales –desde las que producen más grano a las más resistentes a plagas– sea la correcta”, comenta. Esto ha supuesto un avance importante para muchas empresas agroalimentarias que basan parte de su negocio en desarrollar y, posteriormente, comercializar nuevas variedades de cultivo, un proceso que es conocido como “mejoramiento genético”.

“Me consta que muchas empresas están utilizando la técnica que hemos desarrollado, llamada SpATS, para analizar sus experimentos”, puntualiza la investigadora. Según cuenta, su impacto se ha debido, principalmente, al desarrollo de un *software* que permite usar y aplicar, de manera sencilla, la técnica en contextos diversos. Estos programas permiten acortar el tiempo entre la propuesta de un nuevo método estadístico y su aplicación y uso en el mundo real.

Actualmente, Rodríguez-Álvarez se encuentra trabajando con los datos masivos de experimentos de campo de alta resolución, espacial y temporal, obtenidos a través de las llamadas plataformas de fenotipado de alto rendimiento. Gracias a ellas, el comportamiento de las variedades ya no solo se mide y recoge una vez a lo largo de experimento, como tradicionalmente se hacía, sino en muchos momentos diferentes durante el desarrollo del mismo. El principal reto al que se enfrentan ahora es el del desarrollo de nuevos métodos estadísticos y *software* que permitan el análisis adecuado de esta información. Los métodos han de ser computacionalmente eficientes para procesar esa cantidad de datos y se han de poder implementar en cualquier ordenador personal para, además, obtener esos resultados en un corto periodo de tiempo.

Rodríguez-Álvarez también ha investigado en la estadística aplicada al campo de la biomedicina, en temas como el desarrollo de nuevos métodos para la evaluación del valor diagnóstico de biomarcadores clínicos. Además, en colaboración con Francisco González, catedrático de Oftalmología en la Universidad de San-



Imagen: María Xosé Rodríguez-Álvarez

María Xosé Rodríguez-Álvarez es Ikerbasque Research Fellow en el BCAM de Bilbao.

tiago de Compostela, ha estudiado la actividad neuronal en el córtex visual, en concreto, el campo receptivo visual de una neurona, es decir, la región del espacio que provoca una respuesta en la neurona. Como resultado de este trabajo, a partir de los datos recogidos por González en sus experimentos, desarrollaron un nuevo método para la estimación de ese campo receptivo visual, que tiene unas características espacio-temporales que era necesario considerar.

Además, durante su etapa como bioestadística en el Hospital de Santiago de Compostela, de 2010 a 2013, la investigadora participó en proyectos relacionados con biomarcadores tumorales, factores asociados a un peor pronóstico en enfermedades cardíacas o morbimortalidad en recién nacidos prematuros. El análisis de los datos recogidos pretendía dar respuesta a preguntas como si era fiable un nuevo biomarcador tumoral o si la anemia o sangrado eran un factor de riesgo.

Asimismo, Rodríguez-Álvarez se ha interesado por la evaluación de pruebas diagnósticas, como pueden ser las PCR y los test de seroprevalencia, utilizados en la actualidad para la detección de la COVID-19. Antes de que se permita el uso rutinario de una prueba diagnóstica en la práctica clínica, es necesario estimar su precisión, es decir, validar estadísticamente si la prueba es fiable y útil, aunque este último término dependa del contexto en el que se vaya a aplicar. Rodríguez-Álvarez desarrolla métodos estadísticos que permiten evaluar y estudiar si la precisión diagnóstica de una prueba cambia según las características de la persona a la que se le aplica. “El objetivo final de estas técnicas que desarrollo es saber si existen grupos de individuos para los que la prueba diagnóstica tiene un comportamiento óptimo o, lo que es más importante, si existen grupos de individuos para los que la prueba no es útil”, explica la investigadora.

Antes de dedicarse al mundo de la investigación en estadística, Rodríguez-Álvarez trabajó como informática en la empresa privada. Tras terminar la carrera de Matemáticas, en el año 1999, obtuvo una beca de formación en una empresa de consultoría informática gallega, en la que estuvo durante ocho meses formándose como programadora y desarrolladora de aplicaciones informáticas. Tras ello, pasó otros cuatro años en el sector privado, con diferentes roles. “Llegó un momento en que empecé a echar en falta esa parte más matemática y estadística en el trabajo que realizaba, seguía queriendo aplicar lo que había estudiado”, comenta. Fue en ese instante cuando decidió seguir formándose con cursos de doctorado en estadística, más tarde, con un máster en bioestadística y “me picó el gusanillo de la investigación y decidí hacer la tesis”. Al finalizarla, tuvo un contrato de investigadora posdoctoral de la Xunta de Galicia en la Universidad de Vigo (UVIGO), de 2013 a 2016, y tras ello se trasladó al BCAM, donde está actualmente.

Como mujer investigadora, es consciente de que la falta de presencia femenina en las disciplinas STEM (acrónimo en inglés de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas) es palpable. “Uno de los principales problemas es que siguen siendo mun-

dos muy masculinos y es fácil que te hagan sentir que no es tu sitio”, comenta. Además, “se nos enseña desde muy pronto que estas disciplinas no son para nosotras”, asegura. Aunque afirma que no ha sentido una discriminación evidente por ser mujer, sí es consciente, y es una visión que comparte con otras colegas, de que la mayoría de las veces esa discriminación es sutil, tanto que puede pasar desapercibida, también porque se tienen muy interiorizados y naturalizados ciertos comportamientos y actitudes. Para cambiar esta situación, ella cree que es muy importante que haya una masa crítica de mujeres en los centros de trabajo y puestos de responsabilidad. Además, “nos beneficia a todo el mundo, no solo a las mujeres: aportamos diversidad, puntos de vista, vivencias, realidades y maneras de hacer las cosas diferentes, algo también aplicable a todos los grupos y colectivos que en la actualidad están infrarrepresentados”, concluye.

Rodríguez-Álvarez iba a ser una de las ponentes del primer [Diálogo #steMatEsElla](#), una serie de conversaciones entre estudiantes y profesionales de las matemáticas, organizada por la RSME y la asociación EJE&CON, con la colaboración del ICMAT y del BCAM, pero dificultades técnicas le impidieron intervenir en el acto.



María Xosé Rodríguez-Álvarez durante una charla

PERFIL: Álvaro Romaniega (ICMAT)

“Mi entrada en el ICMAT fue toda una casualidad”

Álvaro Romaniega (Aranda de Duero, 1994) mostró desde el instituto un gran interés por asignaturas como Matemáticas, Física y Química. Muestra de ello es que en 2012 consiguió la Medalla de Plata en las olimpiadas nacionales de estas dos últimas asignaturas. Esa pasión le llevó a estudiar Física en la Universidad de Valladolid y posteriormente a realizar un máster en Física Teórica por la Universidad Complutense de Madrid. Fue entonces cuando decidió que quería que las matemáticas se convirtieran en su herramienta de trabajo, por lo que, tras conocer a Alberto Enciso, investigador del ICMAT, en 2017, se decidió por el Instituto para realizar su tesis doctoral, que versa sobre el análisis de ecuaciones de derivadas parciales, los conjuntos nodales, dinámica de fluidos y campos aleatorios.



Imagen: Álvaro Romaniega

Álvaro Romaniega trabaja en su cuarto de la Residencia de Estudiantes de Madrid, donde le acaban de conceder una beca de estancia para el curso 2020-2021.

Hugo Barcia

Álvaro Romaniega afronta en estos momentos el que con toda probabilidad será su último año en el ICMAT. Ahora, ese es su principal objetivo, tras tres años trabajando en su tesis doctoral bajo la supervisión de Alberto Enciso y Daniel Peralta-Salas, investigadores del ICMAT. Junto a ellos, investiga en un campo situado entre el análisis de ecuaciones en derivadas parciales y la teoría de probabilidad y de campos aleatorios, en el contexto

de la mecánica de fluidos, áreas en las que sus tutores son expertos. “Estamos extendiendo para funciones aleatorias un tipo de resultados que ellos tenían para campos deterministas”, confirma Romaniega. Así han logrado dar una solución a una conjetura sobre fluidos propuesta por el matemático soviético del siglo pasado, Vladimir Arnold.

Su entrada en el ICMAT fue “una casualidad”, como él mismo admite. Tras haber cursado un grado en Física y un máster en Física Teórica, tenía pensado seguir por ese mismo camino hasta que un amigo de la carrera le presentó a Enciso. Tras una conversación, este le convenció de realizar el doctorado con él y con Peralta-Salas. Eso sí, este paso a las matemáticas no fue fruto del azar, puesto que ya desde el grado Romaniega se había ido especializando en la parte más matemática de la física, que es la física teórica.

De su estancia en el ICMAT destaca el buen ambiente, puesto que “hay gente muy buena con la que puedes hablar y mantener conversaciones realmente interesantes”. Sin embargo, debido a la pandemia, todo ese contacto humano se ha reducido. “Se puede seguir trabajando, pero se nota la diferencia”, añade. El ritmo, eso sí, no ha disminuido y realiza videoconferencias con sus tutores para continuar con su tesis. Lo que no ha podido es realizar una estancia larga en el extranjero que tenía planificada en Tel Aviv, aunque también valoró marcharse a Princeton, pero la pandemia le obligó a cancelar los planes. “Supongo que la realizaré la próxima primavera”, afirma.

En sus planes también entraba comenzar con su faceta docente en 2020, pero la COVID-19 supuso un obstáculo insuperable. Ante esta situación tan extraña, Romaniega tampoco se ha parado a pensar demasiado en su futuro, y por esa razón no tiene aún claro sobre qué tema va a versar su posdoctorado. “Todavía queda algo de tiempo”, comenta. Eso sí, tiene claro que no se alejará demasiado de los contenidos tratados en su tesis “para no empezar de cero”.

¿Y qué hace Romaniega en su tiempo libre? A la pregunta, el joven investigador responde que hacer deporte se encuentra entre sus máximas prioridades “porque no solo hay que cuidar la mente, sino también el cuerpo”. También le gusta leer sobre otros temas que no sean matemáticas, y de hecho, confiesa que gran parte de su ocio lo destina a “una página web donde divulgo acerca de temas de economía y de filosofía política”.

ENTREVISTA: Nuria Oliver (ELLIS, Data-Pop Alliance e Instituto Vodafone)

“Me aporta satisfacción contribuir a entender y mejorar el mundo”

Nuria Oliver es, actualmente, una de las especialistas en inteligencia artificial y ciencia de datos más reconocidas de España. Licenciada en Ingeniería de Telecomunicación por la Universidad Politécnica de Madrid y doctora por el MediaLab del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), ha centrado su carrera en los últimos años en la aplicación del *big data* para el bien social. Es vicepresidenta y cofundadora de ELLIS (European Laboratory for Learning and Intelligence Systems), asociación europea sin ánimo de lucro creada por la comunidad científica europea investigadora en *machine learning*; también es *chief data scientist* en Data-Pop Alliance, una ONG dedicada al uso de los datos y la inteligencia artificial para el bien social; es *chief scientific advisor* para el Instituto Vodafone, un *think tank* ubicado en Berlín que se dedica a estudiar la intersección entre la tecnología y la sociedad; y es consejera independiente en Bankia. Desde marzo, además, es comisionada para la Presidencia de la Generalitat Valenciana en Inteligencia Artificial y COVID-19.

El pasado 7 de octubre, Oliver inauguró la serie de Diálogos #steMatEsElla con su charla “Datos, datos, datos”. Este ciclo es una de las principales novedades de la tercera edición del programa homónimo de mentorazgo y fomento del talento STEM dirigido a alumnas de grado y máster. Está organizado por la Real Sociedad Matemática Española (RSME) y la Asociación Española de Ejecutiv@s y Conserjer@s (EJE&CON), con la colaboración del ICMAT y del Basque Center for Applied Mathematics (BCAM).

Laura Moreno Iraola

¿Cómo y por qué eligió trabajar en el campo de las ciencias de datos?

En realidad, mi disciplina es la inteligencia artificial. En tercero o cuarto de Ingeniería de Telecomunicaciones (que cursé en la Universidad Politécnica de Madrid), hice un proyecto con una profesora del Departamento de Matemáticas sobre redes neuronales. De alguna manera, aquel fue mi descubrimiento de la inteligencia artificial (IA). Me fascinó poder hacer que sistemas y algoritmos aprendieran e hicieran algo inteligente, porque sonaba casi mágico. Tras ello, realicé mi proyecto fin de carrera en visión por ordenador, un área dentro de la IA, y decidí irme a hacer un doctorado a Estados Unidos en el campo de la inteligencia perceptual. A partir de ahí, he seguido una trayectoria con importantes contribuciones al modelado del comportamiento humano, tanto a nivel individual como agregado, utilizando técnicas de inteligencia artificial y al desarrollo de sistemas inteligentes interactivos que aprovechan esos modelos sobre el comportamiento humano, los sentimientos, etc.

Hasta finales del año 2007, viví en Estados Unidos, cuando me mudé a España para incorporarme como directora científica en I+D en Telefónica. Mi principal cometido era ayudar a construir el departamento de investigación y también crear un equipo internacional multidisciplinar en áreas que, en aquel momento, no eran realmente comunes para una empresa de telecomunicaciones: el modelado de comportamiento humano, el análisis de datos no estructurado utilizando técnicas de inteligencia artificial, etc. Gracias a este trabajo, empecé a desarrollar proyectos de análisis del comportamiento humano agregado a

gran escala, a partir de datos agregados y anonimizados de la red de telefonía móvil.

¿Por qué ha adquirido tanta importancia el *big data* en los últimos años?

La explosión de datos es resultado de diferentes tendencias y hechos. El primero es la ubicuidad de los dispositivos móviles: ya hay muchos más móviles y *smartphones* en el mundo que humanos. Todas nuestras interacciones con estos aparatos van dejando una huella digital detrás, con grandes cantidades de datos generados. Además, estamos también digitalizando el mundo físico a través de sensores, como los que puedan estar en las ciudades o en los automóviles. También hay muchos datos que se captan en un contexto científico: los que obtienen los aceleradores de partículas, los datos astronómicos, los datos del secuenciamiento del ADN o los resultados de todas las pruebas radiológicas. Al final, estas interacciones generan cantidades ingentes de datos, así como lo que se conoce como la economía de los datos que, solo en Europa, este año se estima que supere los setecientos mil millones de euros.

¿Cuáles son las matemáticas que están involucradas en el *big data*?

Se emplean diferentes técnicas. Dependiendo de si queremos clasificar los datos en diferentes grupos o queremos predecir fenómenos, series temporales o hacer *clustering* (agrupar en diferentes categorías), utilizaremos diferentes herramientas de esta disciplina que se conoce como *machine learning*, aprendizaje automático o estadístico.

“Me fascinó poder hacer que sistemas y algoritmos aprendieran e hicieran algo inteligente, porque sonaba casi mágico”



El cargo más reciente de Nuria Oliver es el de comisionada para la Presidencia de la Generalitat Valenciana en Inteligencia Artificial y COVID-19.

¿Cuáles cree que son los grandes retos en este momento?

Hay retos técnicos: recopilación, almacenamiento, mantenimiento, la seguridad en el acceso, la garantía de que se preserve la seguridad...También los hay relativos al análisis de los datos porque las técnicas no son perfectas y, en muchos casos, no existen etiquetas que diferencien las distintas categorías. Hay también retos relativos a generalizar los modelos porque, al final, los datos siempre son una visión parcial de la realidad. Asimismo, los hay respecto a los sesgos algorítmicos, es decir, si se pueden estar dando discriminaciones. Por último, uno muy actual: la captura de los datos en tiempo real; hay muchos escenarios donde hacerlo puede aportar mucho valor, incluyendo, por ejemplo, escenarios de salud pública y de una pandemia, pero en el 99 % de los casos son análisis *post hoc*.

¿Y en cuanto a la ética?

Desde este punto de vista, a mí siempre me gusta hablar de un marco general que intenta agrupar la gran mayoría de los propuestos en la literatura hasta ahora, incluyendo el de la Comisión Europea, muchas de las estrategias nacionales de inteligencia artificial o por organizaciones como el *ionCube* o el ACM. Yo a este marco lo llamo FATEN, ya que tiene cinco grandes dimensiones: la F, de “*fairness*”, es decir, asegurarnos de que los algoritmos no discriminen; la A es triple: “*accountability*”, que haya una clara atribución de la responsabilidad con

relación a las consecuencias del uso de los datos y del uso de los algoritmos que analizan esos datos; “*autonomy*”, garantizar siempre que se preserve la autonomía humana, un principio fundamental en la ética occidental aunque todos y todas interaccionamos con sistemas inteligentes en nuestros móviles que, de una manera subliminal, intentan modificar o influenciar nuestro propio comportamiento y decisiones y, por tanto, están violando este principio de la autonomía. La A también es de “*augmentation*”, aumentando la inteligencia humana, más que sustituyéndola, es decir, velar por un modelo en que complementásemos nuestras habilidades con sistemas de inteligencia artificial. La T es de “*trust*”, confianza, y transparencia, es decir, si nos aseguramos de que los algoritmos son interpretables, podemos explicar por qué están diciendo lo que están diciendo, recomendando o clasificando de la manera en lo que lo están haciendo. La E proviene de “*educación*”; bajo mi punto de vista, es prioritario hacer una inversión ambiciosa en este sentido en todos los ámbitos, desde la educación obligatoria a la educación del personal trabajador, cuyas profesiones se están viendo afectadas por esta revolución. También educación a la ciudadanía y a los dirigentes y clase política para que puedan tomar decisiones informadas. En la E también entra, aunque haciendo algo de trampa, “*beneficiencia*”, que hace alusión al principio que aspira a maximizar el impacto positivo, asegurándonos de que hay variedad en los datos, diversidad y sostenibilidad. Por último, la N hace referencia al principio de “*no maleficiencia*”. Aspira a minimizar el aspecto negativo, con seguridad, con fiabilidad, con reproducibilidad y garantizando siempre que se preserve la privacidad de las personas.

Estas ideas se reflejan en los diversos proyectos en los que está involucrada de uso de técnicas de inteligencia artificial para el bien social, ¿qué nos puede contar sobre ello?

Desde [ELLIS](#), una asociación europea sin ánimo de lucro de la que soy vicepresidenta y cofundadora, intentamos retener, atraer y cultivar la próxima generación de talento investigador excelente en Europa en *machine learning*. Hemos lanzado varias iniciativas y una de ellas es la creación de unidades ELLIS, grupos excelentes de investigación en *machine learning* y áreas relacionadas. Yo hice una propuesta con el apoyo de la Generalitat Valenciana para la creación de una unidad en Alicante, que se llama el Instituto de Inteligencia Artificial centrada en la humanidad y ha sido aprobada recientemente. Una de las áreas de investigación es el modelado del comportamiento humano, tanto a nivel individual como a nivel agregado, utilizando técnicas de inteligencia artificial. A este último nivel, se pretende analizar la consecución de los 17 objetivos de desarrollo sostenible, que la ciencia de datos mida si se están consiguiendo o no y cómo acelerar su consecución.

También trabajo en temas sociales desde mi puesto de *chief data scientist* en [Data-Pop Alliance](#), una ONG dedicada al uso de los datos y la inteligencia artificial para el bien social. Por ejemplo, hemos escrito recientemente un artículo sobre tecnología, datos y COVID-19, editado y publicado por el [Vodafone Institute for Society and Communications](#), un *think tank*, ubicado en Berlín del que soy *chief scientific advisor*. Aquí nos dedicamos a estudiar la intersección entre la tecnología y la sociedad. Y, por último, mi cargo más reciente es el de comisionada para la Presidencia de la Generalitat Valenciana en Inteligencia Artificial y COVID-19.

“Uno de los retos más actuales es capturar los datos en tiempo real”

¿En qué consiste este último trabajo?

Lidero un equipo formado por una veintena de investigadores e investigadoras del sistema valenciano, que trabaja de manera voluntaria. Dicho grupo está dividido en cuatro áreas, las cuales confluyen en el análisis de datos utilizando técnicas de estadística, analítica avanzada y *machine learning*: análisis de la movilidad humana a gran escala, a partir de datos agregados de la red de telefonía móvil; modelos epidemiológicos computacionales, entre los que hemos desarrollado de dos tipos –metapoblacionales e individuales– para predecir la evolución de la pandemia y hacer simulaciones bajo diferentes escenarios; modelos predictivos de uso de UCI, por ejemplo, hospitalizaciones, prevalencia, etc; y ciencia ciudadana. Hemos creado una [gran encuesta ciudadana sobre COVID-19](#), que se ha convertido en la mayor de España y una de las mayores del mundo. Nos aporta información sobre la situación real y la percepción de la ciudadanía, ante la carencia y falta de calidad de los datos. Esta última línea es a la que más tiempo dedico porque requiere un análisis, actualización de datos y seguimiento contantes.

Estaba inmersa en un proyecto para la erradicación de la malaria en África a través de las ciencias de datos cuando llegó la pandemia, ¿podría hablarnos de este proyecto?

Este trabajo se inició cuando yo era directora de investigación en ciencias de datos a nivel global para Vodafone y establecí una colaboración con la Universidad de Southampton y con la Fundación de Bill y Melinda Gates, que tienen mucha actividad sobre malaria en África, en particular, en Mozambique, que es el país donde hemos hecho el estudio. Aquí, por primera vez, hemos utilizado datos agregados y anonimizados de la red de telefonía móvil para poder modelar la movilidad humana, que juega un papel importante en la propagación geográfica de las enfermedades infecciosas, tanto si son de transmisión de humano a humano, como el coronavirus, como si utilizan un vector, en el caso de la malaria, que es un mosquito. Hemos analizado cuáles son las fuentes y los destinos, las zonas que importan y exportan malaria, hemos identificado cuáles son los corredores de mayor movilidad que pueden dar lugar a este fenómeno de importación y exportación de la malaria en el país y hemos realizado una serie de recomendaciones para las políticas que se desplieguen en la lucha para erradicar la malaria. Se prevé que haya trabajo adicional en los próximos meses a este respecto porque actualmente el equipo ha estado centrado en el modelado de la movilidad durante la pandemia de coronavirus.

¿Qué es lo que le aporta participar en proyectos de este tipo?

Satisfacción de poder pensar que con nuestro trabajo podemos tener impacto social positivo, también demostrar que con el conocimiento científico y nuestra experiencia y conocimientos estamos contribuyendo a entender más el mundo y a mejorarlo.

Respecto a la situación de las mujeres en STEM, ¿cómo ha sido para usted trabajar en un campo tan masculinizado como el de ciencia de datos? ¿Ha notado discriminación a su alrededor?

Discriminación explícita no he notado nunca, pero sí he sido una minoría en la mayor parte de mi vida profesional porque, además, cada vez hay menos chicas que eligen estudiar Informática o las ingenierías relacionadas. A lo largo de toda mi carrera me he encontrado con muchas situaciones en las que yo era la única mujer. Cualquier colectivo que está en una situación de minoría, como en este caso las mujeres, está, a priori, en una situación de vulnerabilidad porque los seres humanos tendemos a lo que se llama la homofilia, es decir, a sentirnos más cómodos, cercanos y tener preferencias hacia personas similares, por lo tanto, las minorías quedan excluidas de manera inconsciente. Esto es algo de lo que tenemos que ser conscientes e intentar combatir con medidas activas y explícitas que fomenten la diversidad en los equipos a todos los niveles.

¿Por qué cree que sigue habiendo tan pocas mujeres en disciplinas STEM?

Hay diferentes motivos, que yo resumo en cuatro: en primer lugar, por una gran estereotipación en cuanto a los perfiles profesionales de este campo, sobre en qué consisten estas carreras e, incluso, en cómo se enseñan. En segundo lugar, los sesgos de géneros que todos y todas sufrimos y que nos hacen infravalorar a mujeres en igualdad de condiciones que sus pares masculinos. Hay adolescentes que consideran que no son lo suficientemente buenas para estudiar estas carreras, a pesar de tener un expediente excelente, porque las carreras técnicas tienen fama de ser

difíciles. En tercer lugar, tenemos la falta de reconocimiento y visibilidad de las mujeres en general. En el contexto científico y tecnológico, además de ser muy pocas, si no tenemos visibilidad, es como si no existiésemos. Esto queda patente desde la brecha salarial

hasta los porcentajes ridículos de mujeres que reciben Premios Nobel u otro tipo de reconocimientos. Por último, el cuarto motivo es específico del sector tecnológico. Hay una cultura extremadamente misógina y sexista asentada en muchos entornos, tanto de empresas grandes y pequeñas como de programación en red que es conocida como la “cultura *brogrammer*”, que surge de la intersección de la palabra “*brother*” y “*programmer*”. El primer término hay que entenderlo como miembro de una fraternidad estadounidense, con una cultura muy sexista. Trasladada al contexto de la programación e informática, en gran parte, esta cultura es la que hace que un 58 % de las mujeres que han superado todas las barreras anteriores y que trabajan en el sector tecnológico, al cabo de 10 años decidan dejarlo, no porque no puedan conciliar, al revés, este sector es muy bueno para ello, sino precisamente por esta cultura.

“La gran encuesta ciudadana sobre COVID-19 que hemos creado desde el comisionado de la Generalitat Valenciana se ha convertido en la mayor de España y una de las mayores del mundo”

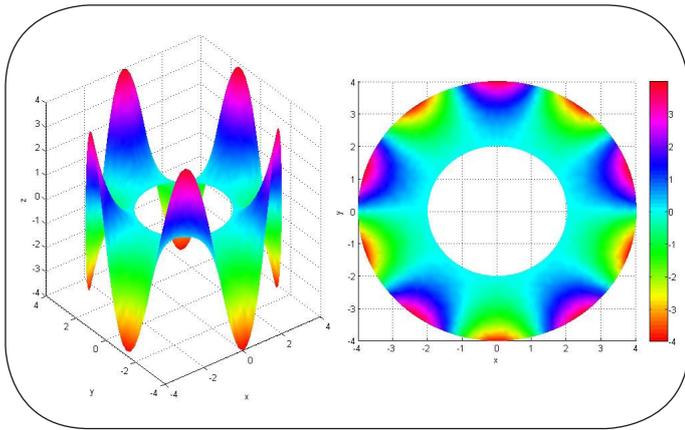
RESEÑA CIENTÍFICA: El problema de Dirichlet para la ecuación de Laplace

Título: “Harmonic measure and quantitative connectivity: geometric characterization of the L_p -solvability of the Dirichlet problem”.

Autores: Jonas Azzam, Steve Hofmann, José María Martell, Mihalis Mourgoglou y Xavier Tolsa.

Fuente: *Inventiones Mathematicae*, 222, 881-993 (2020).

Fuente: Fourtirtwo



Distribución de temperaturas en la corona $2 < |x| < 4$ con datos en la frontera $u = 0$ si $|x| = 2$ y $u = 4 \sin(5\theta)$ si $|x| = 4$.

El operador de Laplace, o laplaciano, es un operador diferencial de segundo orden de tipo elíptico que debe su nombre al físico-matemático Pierre-Simon Laplace. En \mathbb{R}^n su expresión es

$$\Delta u = \frac{\partial^2 u}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial x_2^2} + \dots + \frac{\partial^2 u}{\partial x_n^2}, \quad u = u(x_1, x_2, \dots, x_n),$$

es decir, es la suma de los elementos de la diagonal de la matriz hessiana que contiene todas las derivadas parciales de segundo orden de la función u . Las soluciones de la ecuación de Laplace, es decir, las funciones u que satisfacen $\Delta u = 0$ en cierto conjunto abierto Ω , se denominan funciones armónicas. Esta ecuación aparece al estudiar ciertos problemas de la hidrodinámica, la electrostática, de los potenciales gravitacionales o de la difusión del calor.

El problema de Dirichlet

$$\begin{cases} \Delta u = 0 & \text{en } \Omega \\ u = f & \text{en } \partial\Omega, \end{cases}$$

consiste en encontrar una función armónica u en un conjunto abierto Ω , de forma que su valor en $\partial\Omega$, la llamada *frontera* o *contorno* de Ω , está prefijado y viene dado por la función f . Este problema nos permite, por ejemplo, conocer cómo se va a transmitir el calor en un objeto, en cuyo contorno está prefijada la temperatura. Esta temperatura de la frontera no cambia con el tiempo, pero dejamos que se estabilice en el resto del cuerpo. La distribución de la temperatura en el interior del objeto es precisamente la solución del correspondiente problema de Dirichlet.

A la hora de resolver el problema de Dirichlet es importante que la solución preserve algunas de las propiedades –cualitativas y cuantitativas–, que satisface en la frontera. Por ejemplo, si la función f es continua en la frontera entonces, ¿podremos encontrar una solución que también lo sea, a medida que nos vamos acercando a su contorno? Sabemos que podremos encontrar una solución, usando la denominada medida armónica, que satisface el conocido principio del máximo. En el caso de la difusión del calor, este principio asegura que la mayor temperatura dentro del objeto es, a lo sumo, la mayor de las temperaturas en la frontera, y de forma análoga lo mismo ocurre con el mínimo de las temperaturas.

Pero esta propiedad proporciona información global sobre la solución, no sobre su comportamiento local. Si tenemos, por ejemplo, una *corona* (como la de la imagen) en la que la temperatura se mantiene en 0°C en la mayoría de la frontera y, solo en una región muy pequeña de esta, la temperatura alcanza los 300°C , el principio del máximo indica, como parece natural, que la temperatura en el interior estará entre 0°C y 300°C . Y, del mismo modo que en una habitación con una chimenea encendida la temperatura es muy alta cerca de la misma, podemos imaginar que muy cerca de esta zona donde se alcanzan los 300°C la temperatura será alta, mientras que más lejos la temperatura será más fría. Sin embargo, en el mundo matemático esta idea se corresponde, precisamente, con el hecho de que la solución se comporte de forma continua en un entorno de la frontera, y dependerá de las propiedades geométricas y topológicas del dominio Ω de la ecuación. Para establecer cuándo las soluciones asociadas a datos continuos se comportan de forma continua al acercarse a la frontera se emplea el conocido criterio de Wiener, que requiere cierto “grosor” de la región que queda fuera del dominio.

En general, las propiedades geométricas y topológicas del dominio desempeñan un papel muy importante en el estudio del problema de Dirichlet. En 1977 [Björn Dahlberg](#) demostró que en un dominio con frontera de tipo Lipschitz –como sería la hoja metálica de una sierra para cortar madera– el problema de Dirichlet sí se puede resolver, si la función que representa los valores en la frontera tiene cuadrado integrable con respecto a la medida de superficie en la frontera. Entonces, las soluciones construidas usando la media armónica se comportarán de forma adecuada, en un sentido *no-tangencial* –es decir, en los conos cuyo vértice está en la frontera–. Esto permite, por ejemplo, considerar funciones que toman valores muy grandes de forma repentina en ciertas regiones en la frontera, como el mencionado anteriormente.

Este resultado fue generalizado en 1990 por [Guy David y David Jerison](#), e independientemente, en 1989, por [Stephen Semmes](#). Estos autores demostraron que en los denominados dominios no-tangenciales –introducidos por [David Jerison y Carlos Kenig](#)– el problema de Dirichlet puede resolverse para aquellas funciones en la frontera que son integrables al ser elevadas a una

potencia suficientemente grande. Por tanto, también es posible resolver el problema con funciones en la frontera que presenten singularidades. Eso sí, por el momento parecía necesario que las fronteras poseyeran cierta regularidad. Tanto en el caso Lipschitz como en los dominios no-tangenciales las fronteras son *uniformemente rectificables*, lo que quiere decir que en cada trozo de la frontera hay una proporción fija –puede ser muy pequeña– que es esencialmente como una hoja de sierra.

En la última década diversos investigadores han tratado de averiguar cuál es el contexto más general en el que puede resolverse el problema de Dirichlet, con funciones en la frontera que pueden ser singulares. Los trabajos de [José María Martell, Steve Hofmann e Ignacio Uriarte-Tuero](#) y de [Jonas Azzam, Steve Hofmann, José María Martell, Kaj Nyström y Tatiana Toro](#), establecieron que ese contexto era el de los dominios no-tangenciales, bajo la hipótesis de que dentro del dominio se pueden conectar sus puntos de forma razonable.

En el caso general –es decir, sin saber si el dominio tiene propiedades de conectividad–, [Steve Hofmann, Phi Le, José María Martell y Kaj Nyström](#) demostraron que, si puede resolverse el problema de Dirichlet, entonces necesariamente la frontera es uniformemente rectificable. Pero [se sabía](#) que esta regularidad

no era condición suficiente para garantizar la resolubilidad del problema, por lo que debía ser necesario imponer alguna propiedad adicional de conectividad débil. Esta propiedad ha sido finalmente descubierta por Jonas Azzam, Steve Hofmann, José María Martell, Mihalis Mourgolou y Xavier Tolsa. El trabajo, de 113 páginas y publicado en la revista *Inventiones Mathematicae*, pone punto final a la pregunta planteada: se proporciona una caracterización geométrica de los dominios en los que el problema de Dirichlet con datos que al ser elevados a una potencia suficientemente grande son integrables y cuyas soluciones tienen un buen comportamiento no-tangencial.

Esta caracterización incluye dos condiciones, una sobre la regularidad de la frontera y otra sobre la conectividad del dominio. Más concretamente, la frontera debe ser uniformemente rectificable y, por otro lado, debe garantizarse accesibilidad a una porción de la frontera de forma no-tangencial (a través de caminos con forma de “zanahoria”). El resultado identifica de forma precisa la clase de dominios, es decir, se demuestra no solo que en esa clase puede resolverse el problema anterior, sino también que, si el problema puede resolverse, entonces necesariamente el dominio tiene que satisfacer las dos condiciones mencionadas.

RESEÑA CIENTÍFICA: $SO(p, q)$ -fibrados de Higgs y componentes superiores de Teichmüller

Título: “ $SO(p, q)$ -Higgs bundles and higher Teichmüller components”.

Autores: Marta Aparicio-Arroyo, Steven Bradlow, Brian Collier, Oscar García-Prada, Peter B. Gothen, André Oliveira.

Fuente: *Inventiones Mathematicae*, 218 (2019) 197–299.

Resumen

Dada una superficie lisa, orientada, cerrada y compacta S de género $g \geq 2$, el espacio de Teichmüller de S parametriza estructuras complejas en S , módulo difeomorfismos de S isotópicos a la identidad. Una estructura compleja es simplemente una forma de identificar localmente la superficie S con abiertos de los números complejos. Una superficie equipada con una estructura compleja recibe el nombre de superficie de Riemann. El espacio de moduli de Riemann de curvas algebraicas complejas proyectivas de género g se obtiene como cociente del espacio de Teichmüller por el grupo modular de S . El espacio de Teichmüller se puede identificar con una componente topológica del espacio de clases de equivalencia de representaciones del grupo fundamental de S en $PSL(2, \mathbb{R})$, espacio que recibe el nombre de variedad de caracteres del grupo fundamental de S en $PSL(2, \mathbb{R})$. Esta componente viene determinada por la holonomía de la métrica hiperbólica asociada a una estructura compleja, mediante el teorema de uniformización de Riemann, al considerar las diversas estructuras complejas parametrizadas por el espacio de Teichmüller, y consiste íntegramente en representaciones discretas y fieles, que reciben el nombre de representaciones fuchsianas. El espacio de Teichmüller juega un papel muy importante en muchas áreas de las matemáticas, incluidos el análisis complejo, la topología en baja dimensión,

la geometría algebraica, la geometría hiperbólica, la teoría geométrica de grupos, los sistemas dinámicos, etc.

En 1987, Nigel Hitchin, introdujo la teoría de fibrados de Higgs sobre superficies de Riemann. Esta teoría ha tenido un enorme impacto en muchas áreas de las matemáticas y de la física teórica. Una de las implicaciones fundamentales de la teoría es la correspondencia de Hodge no abeliana que establece, para cualquier grupo de Lie semisimple G , un homeomorfismo de la variedad de G -caracteres del grupo fundamental de la superficie S con el espacio de moduli de los G -fibrados de Higgs sobre la superficie S equipada con una estructura compleja. Aplicando esta correspondencia, en 1992 Hitchin identificó una componente especial de la variedad de caracteres del grupo fundamental de S en $PSL(n, \mathbb{R})$ —y, de forma más general, en una forma real *split* de cualquier grupo de Lie complejo semisimple—. Esta componente, conocida como componente de Hitchin, comparte muchas propiedades con el espacio de Teichmüller de S . De hecho, contiene el espacio habitual de Teichmüller, a través de la representación principal de Kostant de $PSL(2, \mathbb{R})$ en $PSL(n, \mathbb{R})$. Además, al igual que el espacio de Teichmüller, la componente de Hitchin está constituida íntegramente por representaciones discretas y fieles del grupo fundamental. Esto fue demostrado por François Labourie en 2006, tras introducir el concepto de representación de Anosov.

A partir del año 2000, se empezaron a estudiar las variedades de caracteres del grupo fundamental para los grupos hermitianos no compactos. Un grupo hermitiano es el grupo de isometrías de un espacio simétrico kähleriano. El grupo $PSL(2, \mathbb{R})$ es *split* y hermitiano, ya que es el grupo de isometrías del plano hiperbólico. De nuevo, se encontraron nuevas componentes —consistentes íntegramente en representaciones discretas y fieles— utilizando la teoría de fibrados de Higgs y fueron descritas en varios artículos por Olivier Biquard, Steven Bradlow, Oscar García-Prada, Peter Gothen, Ignasi Mundet y Roberto Rubio. También fueron estudiadas utilizando la cohomología acotada por Marc Burger, Alessandra Iozzi y Anna Wienhard. Estas componentes, junto con las componentes de Hitchin, se denominaron componentes superiores de Teichmüller. Como el espacio de Teichmüller, todas ellas tienen la propiedad de que el grupo modular de S actúa libremente sobre ellas.

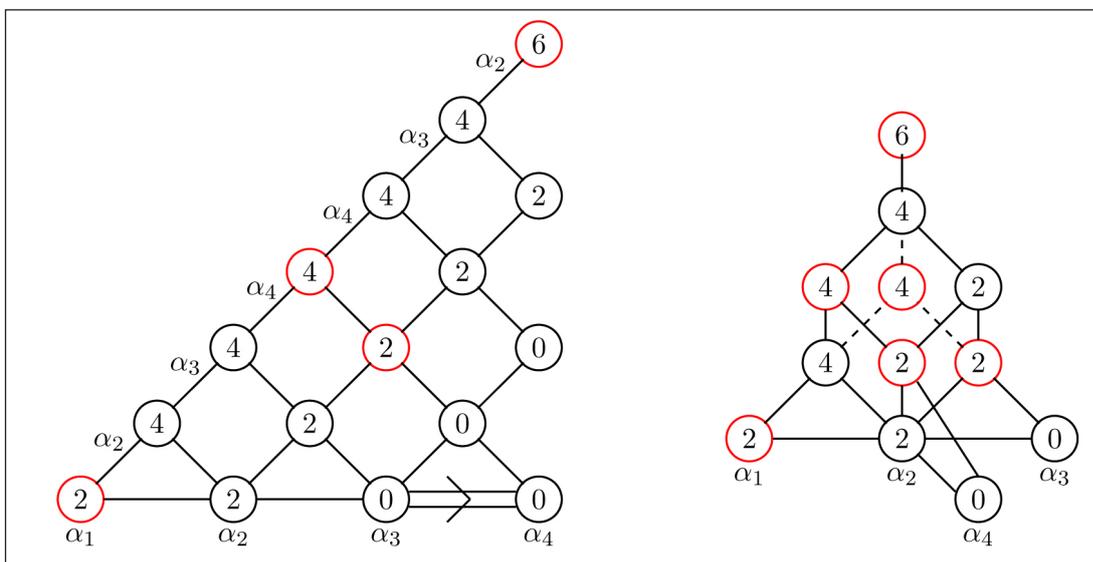
Durante mucho tiempo, se creyó que los grupos *split* y hermitianos eran los únicos tipos de grupos de Lie para los cuales existían componentes superiores de Teichmüller. El artículo reseñado prueba la existencia de este tipo de componentes también para la familia de grupos $SO(p, q)$, incluso cuando no son ni *split* ni hermitianos. Aunque, de partida, esto no se esperaba, tampoco fue una gran sorpresa. Pocos años antes, en su tesis doctoral de 2009, Marta Aparicio había estudiado los fibrados de Higgs para el grupo $SO(p, q)$ utilizando métodos de la teoría de Morse, introducidos por Hitchin para contar componentes. La expectativa original era que las componentes fueran parametrizadas por los invariantes topológicos obvios, pero resultó que había más mínimos de la función Morse de Hitchin de lo esperado, dejando la posibilidad de la existencia de componentes no contabilizadas por los invariantes topológicos usuales —una característica común de los espacios superiores de Teichmüller—. Otra evidencia provino de un trabajo reciente de Olivier Guichard y Anna Wienhard (2016), en el que introducen una noción de estructura positiva en ciertos grupos de Lie reales, lo que lleva a una noción de positividad para una representación del grupo fundamental de la superficie. En ese trabajo clasifican los grupos que admiten estructuras positivas, y demuestran que, además de los grupos *split* y hermitianos, la familia $SO(p, q)$ también forma parte de esta clasificación. Guichard-Labourie-Wienhard conjeturaron

que solo los grupos con estructura positiva admiten componentes de Teichmüller superiores, consistentes enteramente en representaciones positivas. El artículo reseñado apoya firmemente esta conjetura. El texto también incluye un recuento de todas las componentes topológicas de la variedad de $SO(p, q)$ -caracteres.

Además, el trabajo reseñado ha allanado el camino en la búsqueda de un enfoque general para la caracterización de componentes superiores de Teichmüller utilizando la teoría de fibrados de Higgs. Desde el punto de vista de los fibrados de Higgs, las componentes de Teichmüller superiores de grupos hermitianos y para $SO(p, q)$ se construyen a través de la denominada correspondencia de Cayley. Esta identifica varias componentes del espacio de moduli de G -fibrados de Higgs con un espacio de moduli de objetos similares a los fibrados de Higgs para otro grupo de Lie, el grupo de Cayley. Resulta que la componente de Hitchin para grupos reales *split* admite también una interpretación de este tipo. En este caso, el espacio de moduli de Cayley es la base del famoso sistema integrable de Hitchin. La conjetura que surge naturalmente del artículo reseñado es que las componentes superiores de Teichmüller deben surgir en todos los casos de una correspondencia de Cayley. En el trabajo recientemente aparecido (arXiv:2101.09377), Steven Bradlow, Brian Collier, Oscar García-Prada, Peter B. Gothen y André Oliveira han construido una correspondencia de Cayley para todos los grupos que admiten una estructura positiva, en el sentido de Guichard-Wienhard. Esta correspondencia se basa en una clasificación de los grupos reales que admite una forma especial —denominada mágica— de encajar $PSL(2, \mathbb{R})$. La representación principal de Kostant de las formas *split* reales es un caso particular del encaje mágico. El listado de grupos que admiten encajes mágicos coincide con aquellos que admiten estructuras positivas, entre los que se encuentran —además de los grupos *split*, hermitianos y $SO(p, q)$ — las formas reales cuaterniónicas de los grupos F_4, E_6, E_7 y E_8 .

Para iniciarse en este tema, puede consultarse el artículo de Oscar García-Prada, "Higgs bundles and higher Teichmüller spaces", incluido en A. Papadopoulos (Ed.), *Handbook on Teichmüller Theory*, vol. VII, European Mathematical Society, 2020.

Imagen: Brian Collier



Conjuntos parcialmente ordenados de raíces para elementos nilpotentes mágicos de las álgebras de Lie de $SO(3, 6)$ y $SO(3, 5)$ relacionados con las componentes de Teichmüller superiores.

ACTUALIDAD MATEMÁTICA: Noticias ICMAT

Institucional

María Blasco ocupa la presidencia de la Alianza de Centros y Unidades de Excelencia SOMMa

Imagen: María Blasco



María Blasco

María Blasco, directora del Centro Nacional de Investigaciones Oncológicas (CNIO), es la nueva presidenta de la [Alianza Severo Ochoa – María de Maeztu](#), SOMMa. Hasta ahora, ocupaba la vicepresidencia primera. Sustituye, así, a Luis Serrano, director del Centro de Regulación Genómica (CRG). Acompañan a Blasco, desde las vicepresidencias, M^a José Sanz, directora del Basque Centre for Climate Change (BC3), y Antonio Molina, director del Centro de Biotecnología y Genómica de Plantas (CBGP-UPM-INIA), quien deja la secretaría y es sustituido por Isabel Márquez, del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC).

SOMMa reúne a más de 50 entidades de investigación españolas punteras, entre las que se encuentra el ICMAT, con más de 8500 investigadores e investigadoras. Se lanzó oficialmente el 18 de octubre de 2017 como una iniciativa para visibilizar la ciencia española reconocida por las menciones de excelencia Severo Ochoa y María de Maeztu del Plan Estatal de I+D+I.

Las principales asociaciones científicas y de empresas innovadoras hacen un llamamiento por situar la I+D+I en el corazón de la estrategia del país

La Alianza de Centros Severo Ochoa y Unidades María de Maeztu ([SOMMa](#)), de la que forma parte el ICMAT, la Asociación Española para la Investigación del Cáncer ([ASEICA](#)) y la Asociación Española de Bioempresas ([AseBio](#)), entidades que agrupan a casi diez mil investigadores del ámbito público y privado, decenas de centros de investigación y cerca de 300 empresas punteras españolas del sector biotecnológico, han unido sus voces para apremiar a los responsables políticos a transformar el país. En el [documento](#) ya publicado piden, entre otras medidas, superar el 2,5 % de inversión en I+D+I en el año 2027 para lograr un cambio estructural del modelo económico.

Imagen: SOMMa



POR UNA ESTRATEGIA A LARGO PLAZO POR LA CIENCIA Y LA INNOVACIÓN EN ESPAÑA

Resultados, premios y reconocimientos

¿De qué manera se pueden anudar las líneas de un campo magnético?



Imagen: Benjamin Bode

Benjamin Bode ha recibido un contrato Marie Skłodowska-Curie para estudiar los nudos matemáticos que aparecen en contextos físicos.

Benjamin Bode, investigador posdoctoral en el ICMAT, ha recibido un contrato Marie Skłodowska-Curie para estudiar en el Instituto los nudos matemáticos que aparecen en diferentes contextos físicos, como las líneas de un campo magnético. Bajo la dirección de Daniel Peralta-Salas (ICMAT-CSIC), buscarán una descripción del tipo de nudos y los movimientos de nudos que son posibles en estos sistemas dinámicos que surgen de la física. Un nudo matemático se corresponde con una cuerda atada sobre sí misma, en la que se pega un extremo con otro. Es posible construir infinitos nudos diferentes, lo que no sabemos si sucede en el mundo físico.

Inteligencia artificial para mejorar el tratamiento del residuo industrial

Florentino Borondo, catedrático del departamento de Química de la Universidad Autónoma de Madrid (UAM) y miembro del ICMAT, lidera un nuevo proyecto para crear un sistema de sensorización e indicadores de control en plantas de tratamiento de residuos urbanos e industriales, en colaboración con Ferrovial. Con ello, pretenden “minimizar el coste” de la productividad en planta y “maximizar la replicabilidad” en otras instalaciones. Además, como parte de este proyecto se desarrollará un sistema de mantenimiento predictivo mediante inteligencia artificial.

Este plan se enmarca en el II Programa de fomento de la transferencia del conocimiento impulsado por el Vicerrectorado de Innovación, Transferencia y Tecnología de la Universidad Autónoma de Madrid (UAM).



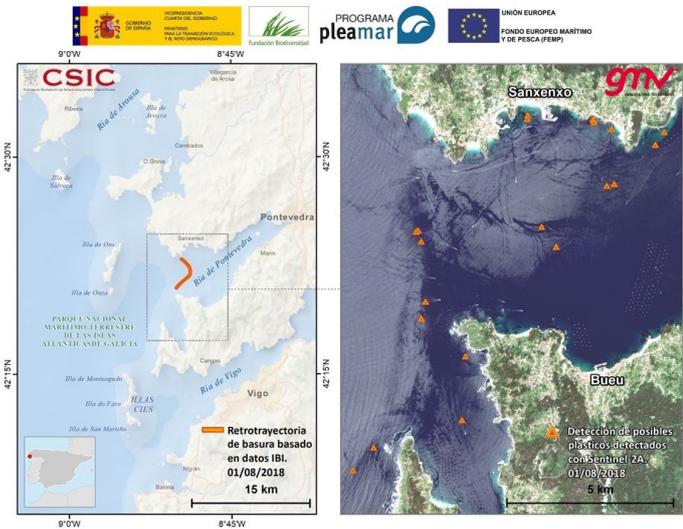
Florentino Borondo lidera un proyecto para crear un sistema de sensorización e indicadores de control en plantas de tratamiento de residuos urbanos e industriales.

El proyecto BEWATS, en el que participan investigadores del ICMAT, avanza en la detección remota de la basura marina en las costas gallegas

Fuente: Universidad de Vigo, GMV

La Universidad de Vigo y los investigadores del ICMAT Ana María Mancho y Guillermo García Sánchez, con la colaboración de la empresa GMV y la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, han trabajado desde diciembre de 2019 en el proyecto BEWATS, que concluirá el próximo mes de abril.

Con él, se han buscado herramientas innovadoras para el monitoreo de la procedencia y el destino de la basura marina en las rías de Vigo y Pontevedra a través de imágenes de satélite y UAV (vehículos aéreos no tripulados). En concreto, la labor de Mancho y García Sánchez se ha centrado en el desarrollo de modelos para el seguimiento de las rutas de los residuos, los cuales han ayudado a delimitar las zonas de origen de dicha basura en las diferentes épocas del año.

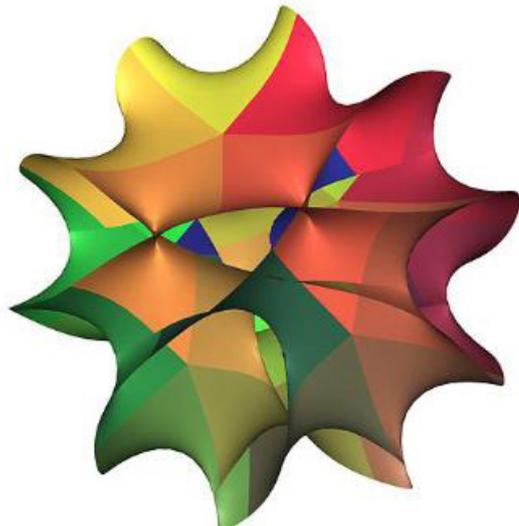


A la izquierda, modelización del origen de la basura marina mediante una retrotrayectoria calculada con el modelo del ICMAT-CSIC basado en datos IBI de CMEMS. A la derecha, posible localización de posibles residuos plásticos tras el procesado del algoritmo de GMV con imágenes de satélite Sentinel-2A (Copernicus).

Nuevas soluciones matemáticas a las ecuaciones que explican el espacio-tiempo

Fuente: UCCUAM

Mario García-Fernández, investigador del Instituto de Ciencias Matemáticas y de la Universidad Autónoma de Madrid, presenta en su artículo "T-dual solutions of the Hull-Strominger system on non-Kähler threefolds" nuevas soluciones al sistema de Hull-Strominger, el conjunto de ecuaciones en espacios de tipo Calabi-Yau no algebraicos que en la teoría de supercuerdas explica el espacio-tiempo. En su *paper*, publicado en 2020 en la revista *Journal für die reine und angewandte Mathematik*, el autor también estudia propiedades cualitativas de las nuevas soluciones encontradas en relación con la propuesta conjetural de *simetría espejo de tipo (0,2)* para espacios complejos no algebraicos.



Sección bidimensional de una variedad Calabi-Yau de seis dimensiones

Altenea Biotech, empresa liderada por la investigadora visitante del ICMAT Nuria Campillo, recibe el Premio Madrid Impacta 2020

La inteligencia artificial, el *machine learning* y el *deep learning* tienen cada vez un papel más destacado en el desarrollo de fármacos y compuestos químicos. En estas ramas se basan los modelos predictivos de parámetros fisicoquímicos, toxicológicos y farmacológicos empleados para estudiar compuestos químicos. Gracias a ellos, es posible acelerar el desarrollo preclínico, seleccionar mejor los compuestos por los que apostar y maximizar las opciones de éxito, lo que implica una reducción de costes y tiempos en el diseño de fármacos.

La empresa de biotecnología Altenea Biotech, *spin-off* del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de Argentina (CONICET), se dedica al diseño e implementación de estos modelos y ha sido premiada con el galardón Madrid Impacta 2020, otorgado por el Ayuntamiento de Madrid a "las mejores soluciones empresariales a los problemas causados por la COVID-19". La compañía está liderada por Nuria Campillo, investigadora del Centro de Investigaciones Biológicas Margarita Salas (CSIC) e investigadora visitante en el ICMAT durante este curso 2020-2021.

Las tres empresas ganadoras –además de Altenea Biotech, Tucavi Car y Sycal Technologies– recibirán una dotación económica de 8000 euros.



Nuria Campillo, investigadora del Centro de Investigaciones Biológicas Margarita Salas (CSIC) e investigadora visitante en el ICMAT, en el ICMAT.

Actividades científicas

Encuentro de análisis armónico y EDP

El pasado mes de diciembre, el ICMAT y la Red de Análisis Armónico y EDP de la London Mathematical Society, de la que forma parte el Instituto, organizaron el congreso *online* "[Harmonic Analysis and PDEs Meeting](#)". En él, especialistas en análisis armónico se reunieron para hablar de las aplicaciones de esta área en el estudio de diversos problemas. El encuentro contó con las ponencias de Gianmarco Brocchi (Universidad de Birmingham), Vjekoslav Kovač (Universidad de Zagreb) y Ioannis Parisis (UPV/EHU & Ikerbasque).



Encuentro del Harmonic Analysis and PDEs Workshop celebrado en septiembre de 2010 en el ICMAT.

Transformación pentagonal y ecuaciones en derivadas parciales integrables, en el último Coloquio ICMAT-UCM

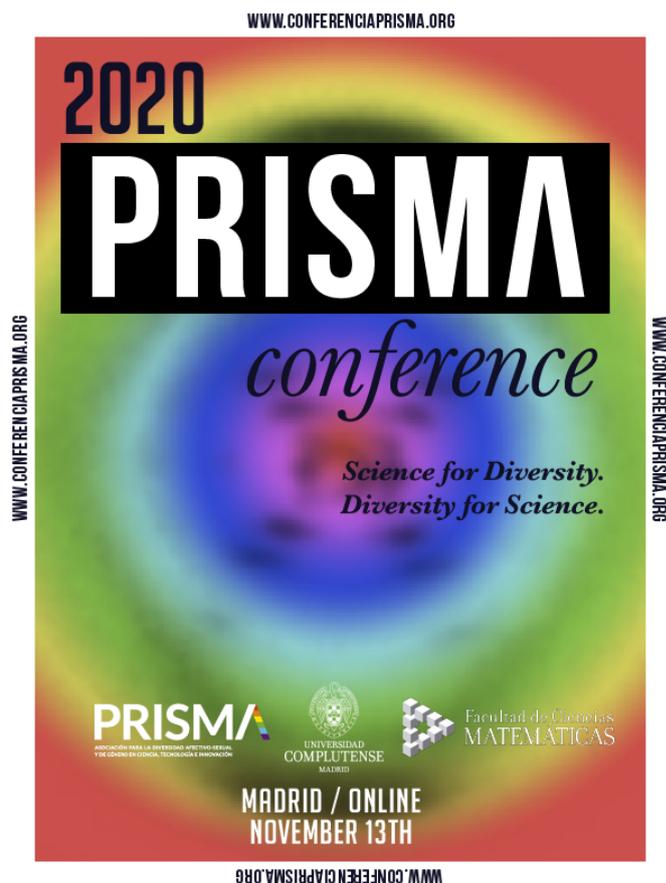
"[Integrable PDEs and Pentagram Maps](#)" fue el título del último Coloquio ICMAT-UCM, que tuvo lugar el 16 de diciembre de manera *online*. Fue impartido por Boris Khesin, catedrático de Matemáticas de la Universidad de Toronto (Canadá), y en él presentó ciertas generalizaciones de un curioso fenómeno observado por el matemático Richard Schwartz en 1992, las cuales aparecen realizando construcciones a partir de polígonos de dimensiones arbitrarias. Este tema está relacionado con diversas áreas de las matemáticas, como los sistemas integrales discretos y de dimensión infinita, las ecuaciones de solitones, álgebras clúster, estructuras invariantes de Poisson, frisos, etc.



Boris Khesin impartió el Coloquio ICMAT-UCM "Integrable PDEs and Pentagram Maps".

La Conferencia Prisma visibiliza la diversidad en ciencia, tecnología e innovación

En el marco de la celebración el 18 de noviembre del LGTB STEM Day, los días 15, 16 y 17 de noviembre, se celebró en nuestro país la primera edición de la [Conferencia PRISMA](#). Fue un evento promovido por la [asociación](#) homónima con los objetivos de dar visibilidad, y reconocer y reivindicar que las personas LGTBQIA+, no solo del mundo académico, también hacen ciencia rigurosa. Además, se pretendía crear comunidad y generar espacios más inclusivos y seguros donde este colectivo pudiera compartir sus experiencias y problemas.



Poster Conferencia PRISMA

Cultura matemática e igualdad

El ICMAT recibe el Distintivo de Acreditación en Igualdad de Género del CSIC

El CSIC ha concedido el Distintivo de Acreditación en Igualdad de Género al ICMAT, tras haber alcanzado la "máxima valoración del jurado", según se recoge en la resolución. Destacan "la adecuación de las medidas contempladas en el Plan de Igualdad" y "la implicación tanto por parte de la dirección como del personal en su conjunto, en el compromiso institucional en materia de igualdad". Asimismo, el Instituto de Diagnóstico Ambiental y estudios del Agua (IDAEA) y el Instituto de Ciencias del Mar (ICM) han sido reconocidos con sendos accésits.

El ICMAT creó su Comisión de Género (ahora, Comisión de Igualdad) en 2016, dentro del programa de Centro de Excelencia Severo Ochoa, otorgado por el Ministerio de Ciencia e Innovación.

Desde entonces, ha desarrollado actividades dirigidas a diferentes públicos, con el objetivo de visibilizar a las mujeres en el ámbito de las matemáticas y fomentar las vocaciones científicas, especialmente entre las niñas.

El distintivo viene acompañado con una dotación económica de 5000 euros que se destinarán a desarrollar actividades de fomento de la igualdad.

Imagen: ICMAT



Ana Bravo (ICMAT-UAM) durante el taller con motivo del 11 de febrero, Día Internacional de la Mujer y la Niña en la Ciencia, celebrado en 2020.

El ICMAT, nuevo miembro institucional de European Women in Mathematics

El principal objetivo de la asociación [European Women in Mathematics](#) (EWM) es aumentar la presencia de las mujeres en las matemáticas y, para ello, a través de diferentes acciones puestas en marcha, fomentan el estudio de la disciplina entre las estudiantes, apoyan a las mujeres en sus carreras y contribuyen a crear una red de especialistas en el campo, así como visibilizan la presencia de las mismas en el área. Desde comienzos de 2021, ICMAT, a través de su Comisión de Igualdad, se ha unido como miembro institucional para colaborar en la consecución de este objetivo.

Fundada en 1986, EWM cuenta con un centenar de miembros y 33 coordinadores en diferentes países europeos. Cada año, organiza una asamblea general y una escuela de verano. Además, publica dos *newsletters* anuales y cuenta con una web propia y una página de Facebook. Gracias a las aportaciones de los miembros es posible mantener estas acciones, especialmente, las becas de viaje, la organización de mesas de discusión y el mantenimiento de las plataformas de comunicación.

Imagen: EWM



La asociación EWM trabaja por aumentar la presencia de las mujeres en las matemáticas.

Silvia Bruno (Red Eléctrica) y María Jesús Carro (UCM) conversan con estudiantes de grado STEM

El jueves 25 de febrero se celebró el segundo diálogo #SteMatEsElla: “¡Tú también puedes!”. Sus protagonistas, Silvia Bruno, directora de Innovación de Red Eléctrica y María Jesús Carro, catedrática de Análisis Matemático en la Universidad Complutense de Madrid, compartieron de manera virtual sus experiencias a lo largo de sus carreras en el ámbito STEM. Ana Bravo, profesora titular de la UAM, miembro del ICMAT y del Consejo de Gobierno de SteMatEsella, fue la encargada de moderar y dirigir la conversación. A la charla asistieron alrededor de 50 personas, en su mayoría estudiantes de grado STEM, quienes pudieron trasladar sus preguntas y dudas a las ponentes.

El programa de Diálogos #STEMatEsElla pretende acercar a alumnas de áreas STEM figuras de referencia en el campo, con el fin de ofrecer modelos y favorecer el intercambio de reflexiones, en un ambiente cercano y distendido. Forma parte de la tercera edición del programa SteMatEsElla, impulsado por la [Asociación Española de Ejecutiv@s y Consejer@s](#) (EJE&CON) y la [Real Sociedad Matemática Española](#) (RSME), con la colaboración del ICMAT y el Basque Center for Applied Mathematics (BCAM) y el patrocinio del Instituto Superior para el Desarrollo de Internet (ISDI), del proyecto Severo Ochoa del ICMAT y de la Cátedra de Inteligencia Analítica de la Universidad de Oviedo. Es una propuesta para impulsar la carrera científica o empresarial entre mujeres estudiantes del grado, másteres universitarios y doctorados en Matemáticas y otras disciplinas afines (agrupadas bajo el acrónimo CTIM).



Imágenes: Red Eléctrica y María Jesús Carro

El segundo diálogo #SteMatEsElla, “¡Tú también puedes!” contó con Silvia Bruno (izquierda) y María Jesús Carro (derecha).

El ICMAT se une a la conmemoración del Día Internacional de la Mujer y la Niña en la Ciencia

La Comisión de Igualdad del Instituto de Ciencias Matemáticas, como cada año, celebró el 11 de febrero, Día Internacional de la Mujer y la Niña en la Ciencia, con una charla-taller para alumnado de 3º, 4º y 5º de Primaria, titulada “[Constelaciones matemáticas](#)”, impartida Marta Folgueira López, profesora titular de la facultad de Matemáticas de la Universidad Complutense de Madrid en el

área de Astronomía y Geodesia. En la misma, se presentaron algunas de las figuras geométricas que aparecen en las constelaciones y otras curiosidades astronómicas, se introdujo el concepto de infinito a través de cuadros del cielo estrellado pintados por mujeres y se habló de algunas mujeres que contribuyeron, a lo largo de la historia, al avance de la astronomía y de las matemáticas. La charla concluyó con un taller realizado con el programa Stellarium, a través del cual el alumnado pudo calcular la posición del Sol, la Luna, constelaciones y estrellas, pudo simular el cielo dependiendo de la localización y el tiempo y crear efectos astronómicos: lluvia de meteoros, eclipses lunares y solares, etc., además de formar su propia constelación.

Junto con esta actividad, el ICMAT también lanzó una campaña en redes sociales en la que investigadores e investigadoras del centro hablaron, en vídeo, sobre las mujeres matemáticas que más les han influido a lo largo de su carrera. Además, el organizó una [serie de actividades](#) en colaboración con otros centros del CSIC del Campus de Cantoblanco.

Imagen: Marta Folgueira López



Ilustración de la charla-taller "Constelaciones matemáticas"

La historia del **Círculo Matemático de Palermo**, la mayor sociedad matemática de comienzos del s. XX, en Matemáticas en la Residencia

El contexto retratado en la novela *El Gatopardo* [Giuseppe Tomasi di Lampedusa, 1958] vio florecer una intensa actividad matemática internacional. Giovanni Battsita Guccia, sobrino del personaje que da nombre al libro, fue el creador del **Círculo Matemático de Palermo**, que se convertiría en la sociedad matemática más grande del mundo.

El pasado 12 de noviembre, Guillermo Curbera, catedrático de la Universidad de Sevilla, desentrañó los orígenes y el esplendor de aquella actividad científica en la conferencia "Fin de siglo XIX en Palermo: la Ciencia entre Il Gattopardo y el estilo Liberty". El evento formó parte del ciclo Matemáticas en la Residencia, organizado por el ICMAT en colaboración con la Residencia de Estudiantes y la Vicepresidencia Adjunta de Cultura Científica del Consejo Superior de Investigadores Científicas (CSIC).



Imagen: Círculo Matemático de Palermo

Círculo Matemático de Palermo

Matemáticas aplicadas a robótica y contactos con vida extraterrestre, en la Semana de la Ciencia del ICMAT

El ICMAT se sumó otro año más a la celebración de la Semana de la Ciencia y la Tecnología del Consejo Superior de Investigadores Científicas (CSIC), que tuvo lugar a lo largo del mes de noviembre, con dos charlas dirigidas a público escolar. La primera de ellas, titulada "¡Eh! ¿Dónde está todo el mundo?", fue impartida por Alberto Ibor (ICMAT-UC3M) el 4 de noviembre. El investigador centró la actividad en la aparente contradicción entre las estimaciones de vida en el universo y la ausencia de identificación de la misma. Al día siguiente, David Martín de Diego (ICMAT-CSIC) charló sobre las matemáticas que hay detrás de la robótica.

Ambos encuentros estuvieron dirigidos a público escolar a partir de 4º de ESO y se realizaron de manera *online*. Además, están disponibles para su visionado en el [canal de YouTube del ICMAT](#).



Imagen: ICMAT

Alberto Ibor y David Martín de Diego impartieron, respectivamente, las charlas "¡Eh! ¿Dónde está todo el mundo?" y "Matemáticas y robótica".

'Números descomunales' en la Noche Europea de los Investigadores 2020

El 27 de noviembre se celebraron en toda Europa actividades para acercar la ciencia y a las personas dedicadas a ella a la ciudadanía. En la Noche de los Investigadores e Investigadoras, el ICMAT participó junto a otros centros del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y Medialab Prado en la iniciativa conjunta "Investiga con CSIC en Medialab Prado".

Entre los diversos talleres y experimentos, Javier Aramayona, investigador del ICMAT, impartió un taller *online* sobre números descomunales en el que mostró los retos de manejar estas cifras, que aparecen de forma sencilla en objetos cotidianos como una baraja de cartas, y cuyo uso es fundamental para garantizar la seguridad de nuestras comunicaciones en internet.



Imagen: ICMAT

Javier Aramayona durante su charla "Números descomunales: Una pequeña ventana al infinito".

AGENDA

Actividades científicas en el ICMAT

- **EECI International Graduate School on Control 2021**
Fecha: 19-23 de abril de 2021
Lugar: ICMAT
- **Escuela JAE de Matemáticas 2021**
Fecha: 21 de junio - 9 de julio de 2021
Lugar: ICMAT

Producción:

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

Comité editorial:

Alberto Enciso
Daniel Peralta-Salas
Ágata Timón García-Longoria
José María Martell

Coordinación:

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

Diseño:

Fábrica de Chocolate

Maquetación:

Equipo globalCOMUNICA

Traducción:

Jeff Palmer

Redacción:

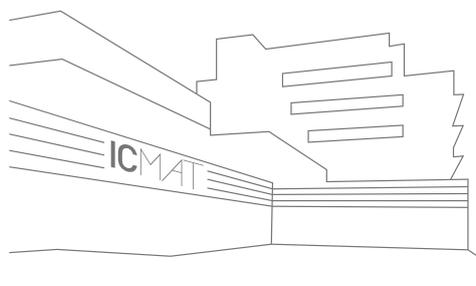
Hugo Barcia
Laura Moreno Iraola
Elvira del Pozo Campos
Ágata Timón García-Longoria

Creative Commons



ICMAT

INSTITUTO DE CIENCIAS MATEMÁTICAS



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

www.icmat.es

