

EDITORIAL

Consecuencias más allá de los propósitos originales



Imagen: ICMAT

Alberto Enciso codirige la comisión científica del ICMAT

Una de mis historias favoritas es la de la aldea ficticia de Agloe, en el estado de Nueva York (EE. UU.). En los años 30 del siglo pasado, los cartógrafos Otto G. Lindberg y Ernest Alpers decidieron colocar un lugar bautizado con este topónimo (que es un anagrama de sus iniciales) en el mapa de carreteras que estaban realizando, con la intención de que sirviera como trampa para posibles plagiadores. En los años sucesivos, cuando otros mapas registraban también un pueblo llamado Agloe, situado en la intersección de los dos caminos de cabras que Lindberg y Alpers habían escogido al azar, los cartógrafos no dudaban en presentar contra ellos demandas por infracción de los derechos de autor. Sin embargo, las perdieron estrepitosamente: tal vez por la desazón de no encontrar el pueblo referenciado en el mapa de carreteras, la gente había ido construyendo un pueblo exactamente en la localización de Agloe, con una gasolinera y cuatro granjas. Esta historia muestra que un plano no solamente no es el territorio, sino que puede llegar a crearlo, y sus consecuencias pueden ir mucho más allá de su propósito inicial.

Más actual y conocida es la historia de la pandemia de la covid-19 y su impacto en nuestras vidas, en nuestros trabajos y en nuestra investigación. La naturaleza teórica de la investigación en matemáticas nos ha permitido a muchos sacar adelante nuestro trabajo con menos retrasos y dificultades que en otras áreas de la ciencia con una mayor componente experimental. Pero la forma en que desarrollamos nuestra labor también ha cambiado drásticamente en este periodo: esta disciplina se desarrolla frecuentemente a base de discusiones, pizarras y viajes, y en estos dos últimos años ha habido pocos desplazamientos, poca tiza y poca interacción cara a cara. Naturalmente, esto es únicamente la punta del iceberg. El elefante en la habitación son los problemas de salud mental, particularmente, ansiedad

y depresión; un riesgo laboral bien documentado en el mundo de la investigación que se ha acrecentado con la incertidumbre, el aislamiento y el repunte de la precariedad sobrevenidos con la pandemia. Y es justo reconocer que estas circunstancias han afectado muy especialmente a los jóvenes, matemáticos o no; un colectivo que se ha visto atacado frecuentemente en los medios de comunicación por casos de flagrante irresponsabilidad social pero que, en su inmensa mayoría, ha ofrecido un comportamiento intachable en circunstancias muy adversas.

Desde el comienzo de la pandemia, la comunidad matemática ha buscado formas de mitigar las dificultades que han ido surgiendo. Muchos de nosotros hemos empleado más tabletas que tizas, añadiendo una componente casi epistolar a nuestras colaboraciones, y nuestras discusiones se han trasladado en gran parte a Zoom, Teams, Skype y Conecta. Ha sido preciso habilitar nuevos lugares físicos y mentales para teletrabajar y relacionarse sin acudir a la oficina y sin tomar aviones, y adaptar los horarios y las costumbres a un contexto complejo e incierto. Sin estas medidas, el impacto de la covid-19 en nuestro trabajo habría sido mucho más acentuado.

(Continúa en la página siguiente)

CONTENIDOS

Editorial: Alberto Enciso (ICMAT).....	01
Reportaje: La ciencia busca investigadoras.....	03
Entrevista: Eva Miranda (UPC-CRM).....	06
Cuestionario ICMAT: Tony Carbery (Universidad de Edimburgo).....	10
Cuéntame tu tesis: Francisco Mengual.....	12
Cuéntame tu tesis: Patricia Contreras Tejada.....	14
She Does Maths: Tatiana Toro (Universidad de Washington, EE. UU.).....	16
Perfil: Alba Dolores García Ruiz (ICMAT-CSIC).....	18
Perfil: Leo Margolis (ICMAT-CSIC).....	19
Reseña: Construyendo fluidos de Euler en dimensión tres Turing-completos.....	20
Reseña: Soluciones débiles para el problema de Muskat en el régimen inestable.....	21
Noticias ICMAT.....	22
Agenda.....	26

Tras casi dos años de pandemia, es una gran noticia que –con prudencia, mascarillas, vacunas en regla y distancia social– podamos ir retomando la actividad presencial y volver a disfrutar de la interacción en persona. Numerosas conferencias y eventos (entre otros, la mayoría de los seminarios y coloquios que organiza el ICMAT) se están llevando ya a cabo con un doble carácter presencial y online. Aunque aún no sabemos cuántos capítulos nos faltan para acabar la historia de esta pandemia, esta vuelta comedida a la actividad presencial nos invita a esperar que la llamada nueva normalidad guarde un parecido razonable con la normalidad antigua.

Como cada crisis es también una oportunidad de salir reforzados, debemos aspirar a que nuestra labor como matemáticos en

esta nueva normalidad sea más cómoda y productiva que antes. Al igual que la aldea ficticia de Agloe, las herramientas y metodologías de trabajo introducidas como medidas temporales para paliar los efectos de la pandemia en nuestro trabajo deben ir mucho más allá de su propósito original. Lejos de desaparecer completamente con el retorno a la actividad presencial, estas medidas han de servir de guía y referencia para desarrollar nuestra actividad de formas más eficientes y sostenibles y facilitar la conciliación de la vida personal y laboral. Nuestros teoremas y nuestra salud mental lo agradecerán.

Alberto Enciso es profesor de investigación del **Consejo Superior de Investigaciones Científicas** y miembro del **ICMAT**.

Imagen: ICMAT



El coloquio impartido por Concha Bielza el pasado mes de octubre se celebró de forma presencial y online.

REPORTAJE: La ciencia busca investigadoras

La celebración del II Evento sobre Igualdad de Género de la Alianza de centros Severo Ochoa y unidades María de Maeztu (SOMMa), organizado en mayo de 2021 por la Comisión de Igualdad del ICMAT, deja una realidad inquietante en el aire: a pesar de los esfuerzos, los datos indican que la ciencia está lejos de presumir de igualdad entre hombres y mujeres. Las protagonistas del encuentro pusieron el foco en la necesidad de seguir entendiendo, sensibilizando y capacitando para alentar a las niñas y cuidar a las investigadoras. Una transformación estructural ineludible porque sin igualdad, no hay excelencia.

Elvira del Pozo

En el mundo, menos de uno de cada tres investigadores es una mujer y solo el tres por ciento de los premios Nobel en ciencias han sido para ellas, alerta un [informe](#) de la UNESCO. “Esta infrarrepresentación se concentra en los campos científicos con mayor carga matemática: las geociencias, las ingenierías, la economía, las propias matemáticas, las ciencias de la computación y las ciencias físicas”, explicaba Donna Ginther, profesora distinguida y directora del Institute of Policy and Social Research de la Universidad de Kansas (EE. UU.). Ella fue la ponente principal del [II Evento sobre Igualdad de Género de los centros y unidades de excelencia SOMMa](#), organizado el pasado mayo por la Comisión de Igualdad del ICMAT.

La brecha de género en las carreras STEM comienza en estadios muy tempranos, mucho antes de la universidad, y está muy relacionada con las clases de Matemáticas que se imparten en los colegios, señalaba Ginther. En su opinión, “las niñas tienen tan asumido que no son buenas en matemáticas, que ni intentan revertirlo. No es una cuestión de falta de aptitud, sino de estereotipo”. La experta cree que también juega en contra que, de manera inconsciente, no quieren competir con los niños.

Ginther se hacía eco de estudios que reflejan que el profesorado de Matemáticas de los primeros años de primaria ejerce un impacto desigual entre niños y niñas: alentando a los primeros, pero no tanto a las segundas. Si, además, en el entorno personal de la

estudiante hay una mayor desigualdad de género esta situación se acentúa. “Las matemáticas no son de chicas”, es el mensaje que reciben. Y, en conclusión, en cuanto tienen que decidir entre las distintas opciones de enseñanza en el instituto, optan mayoritariamente por las de biología, en detrimento de física o matemáticas. Eso les cierra puertas para acceder a ciertas carreras universitarias, lo que merma la cantidad de chicas en investigaciones relacionadas con las carreras STEM de mayor carga matemática.

La investigadora señalaba que las niñas (y también las minorías) tienen mejores resultados en matemáticas cuando se les transmite constantemente, desde primaria, que esta disciplina puede ser aprendida, y que no es una cuestión de si uno la entiende o no. Los resultados mejoran también si se integra el arte en los problemas matemáticos y se eliminan los castigos si no los solucionan bien. Además, es “importante” que las niñas vean mujeres exitosas en campos de investigación STEM, apuntaba la experta en mercados laborales científicos y desigualdad de género en el contexto académico.

Dificultades de adulta

Además de estos estereotipos forjados durante los años de enseñanza, la carrera científica tampoco parece ser especialmente atractiva para las mujeres. “La alta dedicación y la poca flexibilidad horaria se asocian a una menor presencia de mujeres”, concluía Ginther.

En España, la proporción de mujeres investigadoras en plantilla del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) apenas ha variado en la última década, alerta el [Informe de Mujeres Investigadoras 2021](#) elaborado por la Comisión Mujer y Ciencia de esta institución. Además, en 2020, el porcentaje de contratadas predoctorales ha sido el más bajo (50,5%) de los últimos 16 años y las tesis doctorales defendidas por ellas han descendido hasta el 45,97% (en el estudio anterior era un 51,6%).

Esta tendencia también se refleja en la serie estadística [Científicas en Cifras](#) elaborada por la Unidad Mujeres y Ciencia del Ministerio de Ciencia e Innovación: en dos años, de 2015 a 2017, las universitarias que han dado el salto a la investigación ha caído en siete puntos.

“Los datos nos dicen que vamos a peor”, señalaba en el mismo evento Rosina López-Alonso, vicepresidenta de Organización y Relaciones Institucionales del CSIC. “Aunque muchas mujeres se gradúan en carreras STEM, han disminuido las que inician su carrera investigadora, así como las que acceden a escalas científicas superiores y las que defienden sus tesis doctoral”. También apuntaba que las mujeres optan menos a las convocatorias públicas tanto de puestos de investigación como para obtener financiación.



Donna Ginther, directora del Institute of Policy and Social Research de la Universidad de Kansas (EE. UU.), impartió la conferencia “Women and STEM: Are Differences in Education and Career due to Stereotypes, Interest or Family?”



Imagen: ICMAT

De izquierda a derecha y de arriba a abajo, en la mesa redonda, moderada por Patricia Fernández de Lis, participaron Rosina López-Alonso, María Blasco y Zulema Altamirano.

“Parece que la búsqueda de conciliar disuade a las chicas a iniciar el camino de la investigación”, señalaba López-Alonso. En su opinión, la carrera investigadora es muy demandante en movilidad –en relación a la necesidad de hacer estancias internacionales–, horarios y esfuerzo. Y se lamentaba de que “todavía la conciliación y la maternidad es cosas de mujeres y, por ello, nosotras somos las que valoramos la estabilidad laboral y la flexibilidad horaria. No podemos dedicar tanto tiempo y esfuerzo a la tarea investigadora”.

La tasa de abandono de investigadoras se debe también a la elevada carga administrativa que recae sobre ellas (y sobre ellos) de manera habitual, a la discriminación por sexos, al clima laboral hostil y a las conductas sexistas. “Se da poco valor a lo que hacen las mujeres, o se las relega a actividades poco creativas o de poco riesgo –más de secretariado–”, contaba durante su intervención en el encuentro Zulema Altamirano, directora de la Unidad de Mujeres y Ciencia del Ministerio de Ciencia e Innovación. En el [Estudio sobre la situación de las mujeres en carreras científicas en España](#) su departamento identificó estos y otros motivos de abandono como las excesivas jornadas laborales, la dificultades para ejercer el rol de cuidadora, la brecha salarial, la diferente visibilidad de los resultados científicos de ellos y ellas, y la presión social para escalar frente a las dificultades, entre otros.

Entender, sensibilizar, capacitar

“¿Cómo es que seguimos hablando de desigualdad en ciencia después de tantos años de planes de igualdad y comisiones de la mujer?”, se preguntaba Altamirano. En su opinión, “hay que seguir haciendo esfuerzos para entender cuáles son las causas de esta brecha y, de manera paralela, monitorizar y auditar si las políticas de igualdad están funcionando”. También, cree “importante” visibilizar tanto a las investigadoras –su contribución y sus éxitos, para que sirvan de inspiración– como el hecho de que existe realmente sexismo en la ciencia.

Además, una de las claves es “aterrizar los grandes marcos políticos con medidas concretas”, señalaba la representante del Ministerio. La revista *Nature* publicó algunos artículos ([uno](#) y [otro](#)) con aspectos específicos que los centros de investigación tenían que incorporar para que las mujeres desarrollaran plenamente

su carrera científica y que pudieran asumir posiciones de dirección. Entre las propuestas, destacan los horarios flexibles, tiempos inclusivos para los seminarios, guarderías subvencionadas, teletrabajo y cuotas reservadas a mujeres en seminarios y convocatorias, entre otras muchas.

Para que los entornos donde se hace ciencia y se investiga sean igualitarios, inclusivos y diversos de verdad para su personal “es necesario un cambio estructural del centro de investigación”, puntualizaba otra de las protagonistas del evento sobre igualdad: María Blasco, directora del Centro Nacional de Investigaciones Oncológicas (CNIO) y presidenta de la Alianza de Centros Severo Ochoa y María de Maeztu (SOMMa). En su opinión, “las mujeres tienen que estar en posiciones de mando para que puedan propiciar esta transformación hacia un nuevo marco, que probablemente sea también mejor para los hombres. El mundo de la investigación no ha sido diseñado por nosotras porque no hemos ocupado puestos relevantes hasta hace relativamente poco”.

“El CNIO es un centro feminista”, declaraba Blasco. En 2012, creó la oficina de la Mujer y Ciencia para hacer cambios estructurales en el centro. Actualmente, el 70% del personal investigador del centro son mujeres, aunque son ellos los que mayoritariamente dirigen los equipos de investigación. “Estamos aumentando el contrato de mujeres en puestos de dirección gracias a exigir paridad en el número de candidatos que postulan a él”, explicaba la científica.

En el CNIO se aplican políticas de cuotas en los seminarios distinguidos y en sus tribunales, el 50% tiene que ser impartido por mujeres. Lo que, por otro lado, supone una “sobrecarga para las propias investigadoras, sobre todo en entornos con menor presencia de féminas como es el de la robótica”, señalaba en el debate posterior Julia Borrás, investigadora del Instituto de Robótica e Informática Industrial y miembro de la Comisión de Igualdad de su centro, creada en enero de 2021. Además, consideraba que exigir paridad de candidatos en las convocatorias va a encontrar la oposición de muchos grupos de investigación por su dificultad. Ante esta problemática, Blasco tenía clara la solución: “A veces, es necesario dejar una convocatoria desierta. Es la única manera de conseguir igualdad. Y sin igualdad, no hay excelencia”.



El II evento de igualdad de SOMMa fue organizado de forma *online* por el ICMAT. En la imagen, de izquierda a derecha y de arriba a abajo, la mesa de inauguración con Ana Bravo, José María Martell y María Blasco.

ICMAT e igualdad

“Las matemáticas tienen poca presencia de mujeres”. Este es el punto de partida que señalaba José María Martell, director del Instituto de Ciencias Matemáticas (ICMAT) en su presentación del II Evento sobre Igualdad de Género de los centros y unidades de investigación de excelencia SOMMa. “Nuestro centro tiene un firme compromiso con el fomento de la igualdad en este campo, implantando políticas de igualdad, visibilizando la mujer en ciencia y fomentando vocaciones científicas en niñas”, puntualizaba.

El Instituto creó en 2016 la [Comisión de Igualdad](#) con el propósito de “identificar de forma clara las causas del desequilibrio y buscar las estrategias óptimas para mitigarlo”, resaltaba en el encuentro Ana Bravo, presidenta de la Comisión. Bajo su paraguas, se han sumado a iniciativas como [Ellas Investigan](#), que es un programa de movilidad para investigadoras africanas de la Fundación Mujeres por África. Otra acción, más encaminada a dar visibilidad, es la sección ‘She does maths’ del Boletín del ICMAT, en la que se acercan perfiles de mujeres matemáticas.

También, con el objetivo de fomentar vocaciones entre las chicas, el centro participa en el [Día de la Mujer y la Niña en Ciencia](#) (11 de febrero) y en el [Día de las mujeres en matemáticas](#) (12 de mayo), entre otras muchas acciones divulgativas. Para un público universitario está el programa [#SteMatEsElla](#), que aúna mentoría, *coaching*, webinars y visibilización de referentes con el objetivo de impulsar la carrera científica o empresarial entre mujeres estudiantes del grado, másteres universitarios y doctorados en matemáticas.

Estos y otros esfuerzos de la Comisión de Igualdad del ICMAT han sido reconocidos en 2021 con el Distintivo de Acreditación en Igualdad de Género del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). “Este reconocimiento nos impulsa aún más a seguir avanzando en un tema en el que queda mucho por hacer”, concluye Martell.

La covid-19, un escollo más

Durante los peores momentos de la pandemia producida por el SARS-CoV-2, ellas publicaron y revisaron menos *papers* que sus colegas hombres. Esta fue la conclusión a la que llegó un [artículo](#) publicado en *Nature*. También, daba las pistas de por qué a los investigadores masculinos no les afectó tanto el encierro: las mujeres asumieron en mayor medida los cuidados y tareas en el hogar y les costó conciliar.

En el caso particular de España, la situación fue parecida: los hombres con menores a cargo publicaron más, mientras que las que más dejaron de presentar estudios fueron las madres científicas, señalaba durante el II Evento sobre Igualdad de Género de los centros y unidades de investigación de excelencia SOMMa Zulema Altamirano, directora de la Unidad de Mujeres y Ciencia del Ministerio de Ciencia e Innovación. El departamento que dirige realizó una encuesta *online* al personal investigador, que, además, constató que “a pesar de todo, las mujeres fueron capaces de seguir presentando *papers*, pero a costa de su tiempo personal y de mucho estrés”.

Esta situación choca frontalmente con el hecho de que “las mujeres han sido claves en la resolución de la pandemia”, recordaba en su intervención durante el encuentro María Blasco, directora del Centro Nacional de Investigaciones Oncológicas (CNIO) y presidenta de la Alianza de Centros Severo Ochoa y María de Maeztu (SOMMa). Se refiere a científicas de la talla de la viróloga china del laboratorio de Wuhan y experta en coronavirus procedentes de murciélagos Shi Zhengli, que fue una de las primeras en secuenciar el virus responsable de la covid-19. También, a la investigadora húngara de la Universidad de Pensilvania (EE. UU.) Katalin Kariko, que desarrolló la tecnología sobre la que se basan las vacunas de RNA de Pfizer y Moderna.

ENTREVISTA: Eva Miranda, ponente invitada en el 8º Congreso Europeo de Matemáticas

“Apostaría a que Tao va a resolver la conjetura de Navier-Stokes”

Eva Miranda es catedrática de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC)-IMTech y miembro del Centre de Recerca Matemàtica (CRM). Galardonada en 2016 con un premio ICREA Academia, un año más tarde fue distinguida con una *Chaire d'Excellence* de la Fundación de Ciencias Matemáticas de París. Se convirtió, así, en la primera persona española y la segunda mujer en el mundo en ocuparla. Ha sido investigadora asociada al Observatorio de París y es investigadora colaboradora del ICMAT. Hace unos meses publicó, junto con Robert Cardona (UPC), Daniel Peralta-Salas (ICMAT-CSIC) y Francisco Presas (ICMAT-CSIC), un artículo en el que conseguían, por primera vez, construir soluciones para un fluido capaz de simular cualquier máquina de Turing (reseñado en la página 20 de este boletín). En el mes de junio de 2021, Miranda habló de estos resultados como conferenciante invitada del 8º Congreso Europeo de Matemáticas (ECM), el encuentro de la disciplina más importante del continente y el segundo del mundo. Charlamos con ella con motivo de su participación en el congreso.

Ágata Timón García-Longoria

Usted, Xavier Cabré (UPC-ICREA) —en la categoría de plenario— y Joaquim Serra (Universidad de las Islas Baleares) —en la categoría de premiados por la Sociedad Europea de Matemáticas— fueron los tres únicos conferenciantes españoles invitados en el congreso, ¿cómo ha sido la experiencia?

Cuando me invitaron fue una sorpresa, no lo esperaba en absoluto. El congreso se tenía que celebrar en 2020, pero finalmente se atrasó hasta 2021 y tuvo lugar en formato híbrido, con la mayoría de conferenciantes en línea. Lo primero es felicitar a los organizadores por llevar a cabo el congreso, aun con estas difíciles circunstancias. Comparado con el formato estándar de un ECM, en esta ocasión había poca gente conectada a las charlas. Y, evidentemente, la interacción con otros colegas ha sido mucho menor que la que hubiera sido en un congreso presencial. En un congreso tan amplio como este normalmente tienes la oportunidad de relacionarte con gente de otras áreas y otros países, hablar de temas más transversales, pero en esta ocasión hemos perdido esta posibilidad. Esperemos que el siguiente ECM sea presencial. Estoy segura de que Sevilla, la próxima sede del evento, organizará un congreso excepcional.

¿Cómo cree que ha afectado la pandemia a la investigación en matemáticas?

Considero que ha sido un periodo muy difícil para la gente joven, que está acabando la tesis o está disfrutando de un contrato postdoctoral. Es una comunidad muy invisible y en este periodo lo ha sido más. También ha sido complicado iniciar nuevas colaboraciones y trabajar con colaboradores que no se manejan con las herramientas *online*. Sin embargo, para mí ha sido un periodo productivo y fértil en que he podido continuar y profundizar algunos temas importantes y seguir con la dirección de siete tesis doctorales.

¿Podría hablarnos del resultado que ha presentado en el ECM?

Hablé de nuestra construcción de soluciones para las ecuaciones de los fluidos, capaces de simular cualquier máquina de Tu-

ring. Los flujos que construimos codifican un sistema operativo básico que puede ejecutar cualquier algoritmo de computación. En otras palabras, se trata de un “ordenador de agua”. Una de las consecuencias más llamativas de nuestro resultado es que nos permite probar que ciertos fenómenos de la hidrodinámica son indecibles, es decir, no existe ningún algoritmo que permita decidir si una partícula fluida pasará por cierta región del espacio en tiempo finito. Hemos demostrado que en los fluidos se da una complejidad de varios tipos: desde un punto de vista dinámico, computacional y lógico. Incluso en algunos que, a priori, podrían parecer más sencillos por corresponder a soluciones estacionarias (que no dependen del tiempo).

¿Qué relación tiene esta cuestión con el problema de Navier-Stokes?

Terence Tao [catedrático en la Universidad de California en Los Ángeles y medallista Fields (2006)] ha propuesto un programa para resolver el problema sobre la regularidad de las ecuaciones de Navier-Stokes basándose en estos ordenadores fluidos. Cree que puede generar una explosión (*blow-up*) en tiempo finito

en las ecuaciones haciendo uso de construcciones suficientemente complejas, en concreto, simulando una máquina de Turing. Esto querría decir que las ecuaciones de

Navier-Stokes no siempre admiten soluciones suaves o regulares, sino que se producen saltos abruptos.

Uno de los aspectos llamativos de su trabajo es la combinación de diversas perspectivas matemáticas: técnicas geométricas, máquinas de Turing, mecánica de fluidos... ¿Cómo fue el proceso de unir estas ideas?

Nos hemos metido en un tema muy interesante, en el que la topología interacciona con máquinas de Turing. Es un combo explosivo. Hacía mucho tiempo que estaba muy intrigada por el trabajo de Alberto Enciso y Daniel Peralta. Me parecía



Eva Miranda trabaja en diferentes temas de geometría diferencial, física matemática y sistemas dinámicos.

muy llamativa su investigación que combina técnicas de dinámica de fluidos con geometría diferencial. En 2018 Daniel vino a Barcelona a dar un curso en una escuela de sistemas dinámicos y empezamos a colaborar. Extendimos su idea de cambiar campos por formas diferenciales al terreno de las b-formas, que sirven para modelar variedades con borde, en el que yo había estado trabajando intensamente desde 2010. Esta correspondencia –entre campos de Beltrami y campos de Reeb– permite traducir cuestiones de fluidos a la geometría, es como un espejo a través del cual preguntas sobre dinámica de fluidos se convierten en preguntas de geometría. Obtuvimos un primer resultado en el que partíamos de un fluido en una variedad con borde y lo interpretábamos, cerca del borde, como una estructura de b-contacto. Ahí empezamos a mezclar nuestros dos mundos.

Luego, en un viaje en AVE leí en el blog de Tao su propuesta y creí que tal vez podían aplicarse las ideas que habíamos desarrollado. Con el espejo Beltrami-Reeb la pregunta de Tao sobre universalidad de ecuaciones de Euler se transformaba en una pregunta de geometría: ¿se puede embeber un campo cualquiera como campo de Reeb en dimensión superior? No pudimos resistir la tentación de intentar abordar el problema con nuestros métodos de geometría y lo conseguimos.

¿Cómo se añadieron el resto de integrantes?

En nuestro lenguaje geométrico, Tao preguntaba: si tienes un campo, ¿este va a ser de Reeb? Está claro que era una pregunta sobre flexibilidad de estructuras. Vimos que íbamos a necesitar el llamado principio h (h por homotopía) y añadimos a Francisco Presas, experto en el tema, al equipo. En aquel momento no pensábamos en las máquinas de Turing pero, como Tao hablaba de ellas y su relación con sistemas dinámicos, decidimos ponernos en serio con el tema. Entonces nos dimos cuenta de cómo de explícita era la relación: cada movimiento de un punto en el flujo puede verse como un cálculo de la máquina de Turing. Empezamos a visualizar estas máquinas de Turing como un sistema dinámico. Es una visión muy rica, porque puedes ver esas transformaciones como un flujo a tiempo uno de un campo. Robert Cardona, que se doctoró el año pasado bajo mi supervisión, se ha especializado en toda esa parte de ciencias de la computación. Fue preciso repasar muchas construcciones disponibles hasta que, dándole muchas vueltas, conseguimos la construcción propuesta.

¿Cómo dieron con el resultado?

Primero obtuvimos una construcción de universalidad. En ese artículo, aún pendiente de aceptación, incluimos una construcción Turing completa en una esfera de dimensión 17. A mí me parecía una construcción preciosa, pero, tras hablar de ello en un seminario de Zúrich en noviembre de 2019, me di cuenta que para captar la atención de los analistas deberíamos conseguir una construcción en dimensión tres. Sin embargo, las técnicas que habíamos empleado hasta el momento no funcionaban en dimensión baja, así que empezamos a trabajar con técnicas distintas en diciembre de 2019. Teníamos la construcción en la cabeza, pero había que cuadrar bien la parte de máquinas de Turing. Esto tardó bastante.

¿Qué impacto ha tenido este trabajo?

Diría que muy bueno. Por un lado, ha sido uno de los artículos más descargados de la revista *Proceedings of the National Academy of Sciences* (PNAS), donde se publicó, y ha tenido un impacto mediático importante: *El País*, *Pour la Science* y otros medios se hicieron eco del avance. También diversos blogs de científicos destacados, como el de Gil Kalai, han hecho referencia al resultado. Tao ha dado un par de charlas recientes en el Mathematical Sciences Research Institute (MSRI) en Berkeley (EE. UU.), en el centro BIRS en Banff (Canadá) en las que ha dedicado 15 minutos a hablar de nuestro resultado. También ha mencionado nuestra construcción en la entrega del premio Riemann que tuvo lugar el pasado mes de septiembre.

¿Cómo cree que avanza el programa propuesto por Tao para resolver Navier-Stokes?

Si tuviese que apostar, apostaría a que se va a resolver la conjetura en los próximos años. Desde 2017 Tao está dándole vueltas con ideas muy innovadoras. No sé hasta qué punto está usando nuestra máquina, pero desde luego le ha dado qué pensar. En nuestro resultado la métrica es una variable más, lo que da mucha libertad para hacer todas estas construcciones. Tao dice que imponiendo ciertas restricciones a la métrica y consiguiendo una condición de invariancia, él cree que sería posible llegar a hacer una construcción de este estilo. Como yo creo en los finales felices, creo que se va a conseguir resolver con un contraejemplo. Sería muy interesante reunirnos con él en persona, es posible que diera lugar a colaboración.

¿Ustedes han seguido avanzando sobre estas ideas?

Sí. Las soluciones que consideramos en el artículo anterior eran las de Beltrami, es decir, un caso estacionario, que no depende del tiempo, y ahora hemos podido extender la idea de la máquina de Turing al caso de Euler general. Todo tiene un precio: ahora la dimensión se dispara. Además, hemos empleado un resultado que Francisco Torres de Lizaur obtuvo poco después relacionado con nuestro artículo de PNAS. Estábamos trabajando en una construcción y nos faltaba precisamente ese dato.

¿En qué otros temas está trabajando en este momento?

Uno de los temas en los que llevo trabajando desde hace un tiempo es en extender la teoría de topología simpléctica a variedades de Poisson. La motivación se puede explicar desde la mecánica celeste, en concreto, con el problema restringido de tres cuerpos. Estudiamos el sistema formado por un satélite, la Tierra y la Luna. Están atraídos entre ellos, pero suponemos que el satélite tiene masa despreciable, por lo tanto, lo que cuenta

“Hemos podido extender la idea de la máquina de Turing al caso de Euler general”

es la atracción de la Luna y la Tierra. El movimiento del satélite sigue unas ecuaciones que conocemos, pero si sucede una colisión, o el satélite se escapa y se va al infinito, el comportamiento del satélite deja de corresponder a las ecuaciones hamiltonianas asociadas a la estructura simpléctica estándar y aparecen las b-singularidades en la estructura simpléctica. Mi interés es entender estas órbitas de escape.

Ahora me estoy preguntando en qué tipo de problemas aparecen.

¿Se puede demostrar que siempre existen? Esto es interesante desde un punto de vista de geometría de contacto porque está relacionado con la conjetura de Weinstein sobre existencia de órbitas periódicas singulares, que es una generalización de la conjetura de Weinstein estándar.

¿Qué aplicaciones tienen estas ideas?

Es interesante estudiar estas órbitas de escape porque no queremos que se den, o si se dan, queremos poder controlarlas. Para ello, aplicamos teoría de perturbaciones, o teoría KAM, al problema del movimiento del satélite. Hay muchas cuestiones del movimiento de tres cuerpos que se utilizan en la práctica en astrodinámica. Por ejemplo, la identificación de los llamados puntos de Lagrange se usa para optimizar el consumo de combustible: si navegas cerca de esos puntos, gastas menos combustible.

¿Qué resultados ha obtenido al respecto?

Con Daniel Peralta y Cédric Oms, otro antiguo estudiante mío, demostramos, utilizando el espejo Beltrami/Reeb, que existe un número mínimo de órbitas, dictado por la forma que tiene el conjunto de la línea del infinito. Su topología determina el número mínimo de órbitas que pueden aparecer. Este resultado no puede aplicarse al problema de tres cuerpos porque hay ciertas hipótesis de partida que no se cumplen, pero estamos intentando mejorarlo. Demostrarlo en el caso general es una de las cuestiones en las que estoy trabajando ahora mismo. Además, con Cédric, obtuve una familia de órbitas periódicas nueva para el problema de tres cuerpos no conocida hasta ahora. Estoy muy orgullosa de este avance.

De alguna manera estos trabajos también han acabado confluyendo con los trabajos en fluidos.

Sí, eran dos temas que aparentemente no estaban relacionados, pero ha resultado que sí que lo están y los nexos son diversos. Por un lado, por el propio espejo Beltrami-Reeb cualquier problema sobre órbitas de campos de Beltrami puede traducirse en un problema de órbitas para campos de Reeb. En particular, se puede aplicar los resultados conocidos como la conjetura de Weinstein (en los supuestos en los que está demostrada) para

"Mi interés es entender orbitas de escape que aparecen en problemas de dinámica celeste"

demostrar la existencia de órbitas periódicas para campos de Beltrami. El espejo funciona en los dos sentidos. Así, hemos podido aplicar un resultado de Karen Uhlenbeck (Premio Abel 2019) sobre la genericidad de las autofunciones del laplaciano para demostrar la existencia de órbitas con puntos singulares al otro lado del espejo. En particular, las órbitas de escape presentan ese comportamiento. Lo curioso es que las órbitas de escape se pueden ver como órbitas singulares (algunas veces periódicas). Eso nos lleva de nuevo al terreno de la conjetura de Weinstein.

También está trabajando en problemas de Floer.

Sí, yo estaba interesada en cuestiones de órbitas periódicas, que es una cuestión de sistemas dinámicos, y llegué a los problemas de Floer, que son un tema de topología simpléctica y de contacto. Andreas Floer desarrolló un complejo algebraico para estudiar la existencia de órbitas periódicas de los campos hamiltonianos. Él quería encontrar una caracterización de la existencia de órbitas, aquel fue el motor del desarrollo de toda la teoría de Floer. Él pensaba que esta teoría iba a depender del hamiltoniano, pero acabó demostrando que no es así. Aunque en principio aquello le debió parecer muy frustrante, fue justamente lo que permitió demostrar la conjetura de Arnold, que trata sobre los puntos fijos de un difeomorfismo. Ahora estoy intentando traducir lo que hacía Floer para identificar cierto tipo de órbitas periódicas en las que se marcan puntos en los que el campo se anula. La motivación viene de mecánica celeste, justamente del problema que he explicado antes, porque algunas de estas órbitas singulares se corresponden con las órbitas de escape.

Además, está interesada en cuestiones de cuantización.

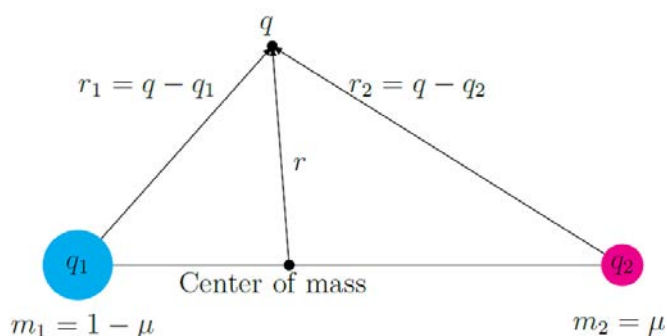
Sí, es un tema más clásico. Tratamos de compaginar los modelos geométricos con los modelos de la física cuántica. Hay conjeturas muy clásicas abiertas que preguntan si, cuando se tiene una simetría en cierto sistema, la cuantización conmuta con la reducción. Estamos ampliando los modelos a situaciones más generales, en concreto, a variedades de Poisson, que responden a la existencia de puntos de equilibrio en problemas físicos o a versiones paramétricas de sistemas clásicos, donde el parámetro puede ser singular. Conseguir unos modelos compatibles con la física es complicado, pero no imposible.

Al trabajo de investigación se suma la dirección de tesis doctorales, ¿cómo valora esta labor?

Me considero una feliz directora de tesis. En total seis alumnos míos ya han defendido su tesis doctoral y tres lo van a hacer pronto. Las colaboraciones con mis alumnos suelen ser muy duraderas y aprendo mucho de ellos. Me siento muy recompensada al ver cómo progresan en su carrera y cómo van adquiriendo experiencia. El año pasado tenía siete alumnos de tesis doctoral simultáneamente lo cuál era un poco excesivo, la verdad. En 2020-2021, cuatro de ellos defendieron sus tesis doctorales y ahora quedan tres más en el nido, más uno pendiente de empezar pronto.

¿Cuándo decidió usted que quería dedicarse a las matemáticas?

A mí me gustaban mucho la literatura y las matemáticas; y tenían una cosa en común, que era la creatividad. Y para mí eran una manera de escapar de la realidad, en cierta forma me ofrecían un refugio interior, lo que me parecía liberador. Me lo pasaba muy bien resolviendo problemas de matemáticas y también escribiendo. En el momento que tuve que decidir escogí matemáticas; siempre me pregunto qué hubiese ocurrido de escoger la otra opción.



El problema restringido de tres cuerpos es uno de los temas en los que Miranda ha realizado contribuciones en los últimos años.

¿Cómo se interesó por la investigación?

En tercer curso, el profesor de Geometría Diferencial nos planteó un problema de teoría de foliaciones, que estudia cómo se puede partir un espacio en trozos de manera diferenciable. Aquello me fascinó, me pareció precioso y muy artístico y le pregunté, quería saber más de ese tema. Entonces me dejó un libro sobre foliaciones. Me pareció apasionante, y pude hacer optativas relacionadas y estudiar cuestiones avanzadas durante la carrera. Al finalizar la carrera escogí al profesor de Geometría Diferencial, Carlos Currás-Bosch, como director de tesis doctoral y finalmente cumplí mi sueño e hice una tesis sobre foliaciones lagrangianas, aquellos objetos que me habían fascinado tanto en tercer curso.

¿Qué hizo después de la tesis?

Al terminar me fui como investigadora postdoctoral a Francia, donde estuve unos tres años, casi dos de ellos con un contrato Marie Curie y luego volví con un contrato Juan de la Cierva. El retorno fue muy difícil, con mucha incertidumbre. La reincorporación es un problema pendiente de resolver en España. Estamos exigiendo a los investigadores jóvenes que salgan fuera y luego las ofertas para que vuelvan a España no son suficientemente competitivas. Las convocatorias Margarita Salas y María Zambrano han sido un soplo de aire fresco. Necesitamos que estas convocatorias sean regulares para conseguir nuevas generaciones de investigadores estables en España. Conviene buscar soluciones para no perder a esas personas que hemos formado. Las plantillas universitarias están muy envejecidas y urge incorporar nuevo talento de forma escalonada, este nuevo talento aportará nuevas energías e ideas al sistema.

En 2016 fue galardonada con un premio ICREA Academia y en 2017 con una cátedra de excelencia de la Fundación Ciencias Matemáticas de París, ¿cómo han afectado esos reconocimientos a su carrera investigadora?

Puedo decir sin lugar a dudas que ambos premios han contribuido a mejorar la calidad de mi investigación. Por un lado, el premio ICREA Academia ha cambiado mi vida por completo: durante cinco años he podido dedicarme intensamente a la investigación y asumir retos que no podría haber asumido de otra forma. En particular, me cuesta creer que hubiésemos conseguido la construcción de la máquina de Turing sin todo ese tiempo dedicado a investigar. Tampoco podría haber encontrado la nueva familia de órbitas periódicas del problema restringido de tres cuerpos, ni demostrar el teorema de desingularización de b -variedades y, así, una larga lista. Además, los recursos económicos de ICREA Academia me han permitido ampliar mi equipo investigador incorporando investigadores de iniciación a la investigación, estudiantes de tesis e incluso abrir una plaza postdoctoral en plena pandemia, cuando no había muchas plazas postdoctorales abiertas.

Por otro lado, la cátedra de Excelencia de la Fundación de Ciencias Matemáticas de París ha sido sin duda un reconocimiento de primer nivel que me permitió trabajar mano a mano con los máximos exponentes en el estudio de problemas de mecánica celeste en el Observatorio de París, me abrió nuevos horizontes en el estudio de las b -variedades y me aportó mucha inspiración. Por otro lado, pude traer a dos de mis alumnos doctorales a París durante un semestre y además me permitió financiar un coloquio de clausura de la cátedra e invitar a numerosos colaboradores. Con el Observatorio de París también he mantenido una relación muy estrecha y he continuado afiliada como investigadora.

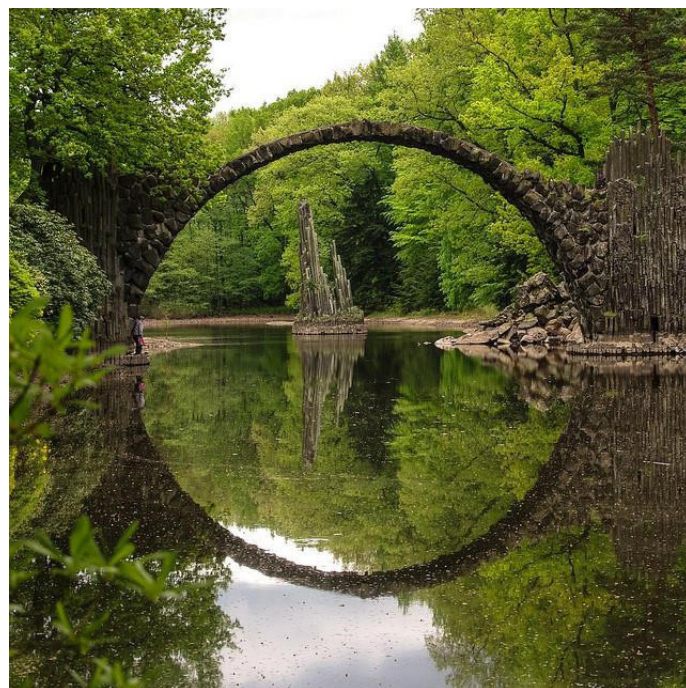


Imagen: Eva Miranda

En el reflejo del Puente de Rakotzbrücke en Alemania aparece una representación artística de las órbitas singulares estudiadas por Miranda. Los puntos singulares en el semicírculo son la intersección con el agua.

Usted fue la primera mujer matemática en conseguir un ICREA Academia y la segunda mujer en conseguir una cátedra de Excelencia de la Fundación de Ciencias Matemáticas de París.

Sí, aunque después Teresa Martínez Seara y Núria Fagella también han recibido el ICREA Academia. Me complace no estar sola en esa categoría. Respecto a la cátedra de Excelencia de la FSMP, es muy sorprendente, pero solo Hélène Esnault y yo lo hemos conseguido. Hélène lo consiguió en 2011.

¿Cómo describiría la situación actual de las mujeres en las matemáticas?

Se está haciendo muy poco para mejorar la situación de las mujeres en investigación. Somos conscientes de que existe un problema, organizamos sesiones dedicadas a reflexionar sobre ello, mesas redondas, charlas, pero no se están poniendo en marcha soluciones. Hablar sobre el problema no es suficiente para solucionarlo. Deberíamos conseguir que las mujeres recuperen terreno y muchas más se incorporen a las carreras investigadoras, si no, estamos perdiendo mucho talento. La diversidad en ciencia es fundamental y hay que incorporar el talento femenino para avanzar y para eso conviene tomar decisiones valientes.

¿Cuál cree que serían posibles soluciones?

Yo creo que si visibilizamos más a las mujeres conseguiremos avanzar. Por ejemplo, proponer a mujeres como conferenciantes plenarias de congresos o a más mujeres para premios mejoraría mucho su proyección. De forma inconsciente, siempre se piensa en los hombres para los galardones, pero hay que dar un paso adelante, cambiar el chip, dejar que las mujeres sean protagonistas en ciencia. Ahora mismo se sigue cuestionando a las mujeres en ciencia. Para conseguir algo sueles tener que demostrar el doble. Cuando se plantea el nombre de una mujer para premios o charlas plenarias suelen aparecer más voces contrarias. Hay que dejar de ponerlas en tela de juicio y proponerlas para charlas y premios, sin miedo a equivocarse y sin dar un paso atrás. Cuando eso esté normalizado será todo mucho más fácil.

CUESTIONARIO ICMAT: Tony Carbery (Universidad de Edimburgo)

Tony Carbery, catedrático de la Escuela de Matemáticas de la Universidad de Edimburgo, es uno de los nuevos investigadores que se han incorporado al programa de **Profesores Distinguidos Severo Ochoa del ICMAT 2020-2023**. Con este motivo, a finales de 2021, ha realizado una estancia en el centro, lo que le está dando la oportunidad de avanzar en su colaboración con el grupo de Javier Parcet (ICMAT-CSIC) y José María Martell (ICMAT-CSIC).

Laura Moreno Iraola

¿Por qué decidió estudiar Matemáticas?

En el colegio, me gustaban las asignaturas de Física y Química y también las de idiomas, como Francés y Español. Era bueno en Matemáticas y encontraba sus estructuras muy llamativas, aunque, en ese momento, no me veía haciendo la carrera. Sin embargo, cuanto más ciencia estudiaba, más sentía que no estaba *llegando a la verdad* y, de hecho, en ocasiones, me daba cuenta de que me ofuscaba, de manera deliberada o no. Por ello, en los dos últimos años de instituto, mi objetivo era combinar Matemáticas con Español y Francés, pero el horario no me lo permitía, así que acabé eligiendo Matemáticas puras, aplicadas y Física. Al final, esto me condujo a estudiar Matemáticas, que cursé en Oxford, pero he conseguido mantener mi interés y cariño por el español.

¿Cómo fue su primer encuentro con la investigación?

Cuando hice la carrera, aún no había proyectos para estudiantes de grado, así que mi primera inmersión en el mundo de la investigación fue como estudiante de doctorado en la Universidad de California en Los Ángeles (UCLA) bajo la supervisión de John Garnett. En 1980, justo antes de Navidad, este me dio varios *papers* sobre diferentes temas para que leyera durante las vacaciones. Uno de ellos era de Antonio Córdoba, "Translation Invariant Operators", y me encantó. Después de Navidad, le comenté que quería trabajar en esa área, pero él me contestó que no conocía nada sobre ella. Unos meses después, mi director coincidió con Córdoba en un congreso en Chicago en la que presentó una serie de problemas abiertos. Al final y de manera afortunada, conseguí resolver una variante sobre uno de ellos. Así comenzaron las cosas.

¿Cómo recuerda aquellas primeras experiencias en la investigación?

Fueron una mezcla de asombro, emoción y frustración. Había muchas cosas que quería entender y muy pocas que pudiera. Aun así, se puede hacer carrera solo entendiendo unas pocas cosas cada año; es algo que descubrí muy lentamente. Además, para mí, el factor humano era muy importante y tuve la suerte de poder contar con el enorme apoyo de mi supervisor. Una actitud que ahora trato de replicar en mis propios estudiantes de doctorado. También recuerdo las interacciones con otros jóvenes investigadores de Chicago, donde realicé mi

postdoctorado, en especial, con Fernando Soria (Universidad Autónoma de Madrid). Con él establecí una colaboración y una amistad gracias a las que he podido visitar España en varias ocasiones desde los años 80 del siglo pasado. Por supuesto, guardo un buen recuerdo de los congresos, sobre todo, del encuentro en El Escorial de 1983, que, para mí, fue el mejor de toda mi vida profesional.

¿Cuál ha sido el científico/a que más le ha impresionado?

Centrándome en matemáticas y, por ende, en los matemáticos que conozco, no podía ser otro que Eli Stein. Durante el doctorado, Garnett me pidió que leyera el clásico *Singular integrals and differentiability properties of functions*, que era su libro favorito, e, inmediatamente, la obra en sí y sus contenidos me cautivaron. Tuve la oportunidad de conocer a Stein en El Escorial en 1983. Para mí era como un dios de las matemáticas y ver que era tan cercano, amable e interesante me hizo corroborar la importancia de las interacciones humanas en esta disciplina. Las contribuciones de Stein son enormes y, sobre todo, fomentó la cooperación en lugar de la competición en la investigación. Y, aunque Calderón y Zygmund fueron, sin lugar a dudas, los padres fundadores del análisis armónico moderno, la gran importancia que ha adquirido el área y la buena salud de la que ha gozado en los últimos sesenta años es principalmente gracias a Stein. Le debemos mucho.

¿Tiene un teorema favorito?

Suelo pensar más en las cosas que no entiendo que en aquellas que sí comprendo, así que tengo más problemas que teoremas favoritos. Los teoremas que más me gustan son aquellos que presentan nuevos problemas. Por ejemplo, el teorema de convergencia en casi todo punto de Carleson para funciones integrables cuadradas en la línea: ¿qué ocurre con las dimensiones más altas?; el teorema de Guth sobre el problema multilineal de Kakeya: ¿qué pasa con la restricción?; y los resultados de Komlós, Pintz y Szemerédi sobre el problema del triángulo de Heilbronn, que aún no son definitivos y que, bajo mi punto de vista, merecen una mayor atención.

¿Cuál es su libro matemático favorito?

Aunque sea un poco *vintage*, *Singular integrals and differentiability properties of functions*, de Eli Stein.

¿Qué temas de investigación le interesan?

Me sigue motivando la misma área de investigación de siempre: la interrelación entre los operadores del análisis armónico y la geometría, ya sea en forma de curvatura o de geometría discreta/combinatoria y, además, la relación con el análisis funcional.

¿Qué resultados recientes de ese campo destacaría?

Aunque no es del todo análisis armónico, encuentro muy impresionante el trabajo reciente de Tidor, Yu y Zhao sobre *joints* (articulaciones) y *multijoints* (multiarticulaciones) para planos afines. Desde luego, estos avances son posibles gracias a una larga línea de trabajos previos, especialmente, a las aportaciones de Ruixiang Zhang.

¿Qué problema abierto considera especialmente interesante?

Para mí, siempre ha sido el mismo: el problema de restricción de Stein para la transformada de Fourier. Ha motivado muchas matemáticas de enorme calidad y demuestra, una vez más, la increíble visión del campo, excelente juicio y gusto de Stein. Sin embargo, después de cincuenta años sigue sin estar resuelto. De una cosa estoy seguro: ¡no seré yo quien lo resuelva!

¿Qué trabajo espera poder desarrollar como Profesor Visitante Distinguido en el ICMAT?

Espero poder contribuir a la vida diaria del ICMAT cuando esté en el centro, con seminarios, grupos de trabajo y discusiones informales. Además, espero ayudar a aumentar su visibilidad, organizando visitas de personas de gran prestigio y eventos de investigación, en cuanto la pandemia lo permita. También, investigar y colaborar con la gente del ICMAT.

¿Qué destacaría de su experiencia en el ICMAT?

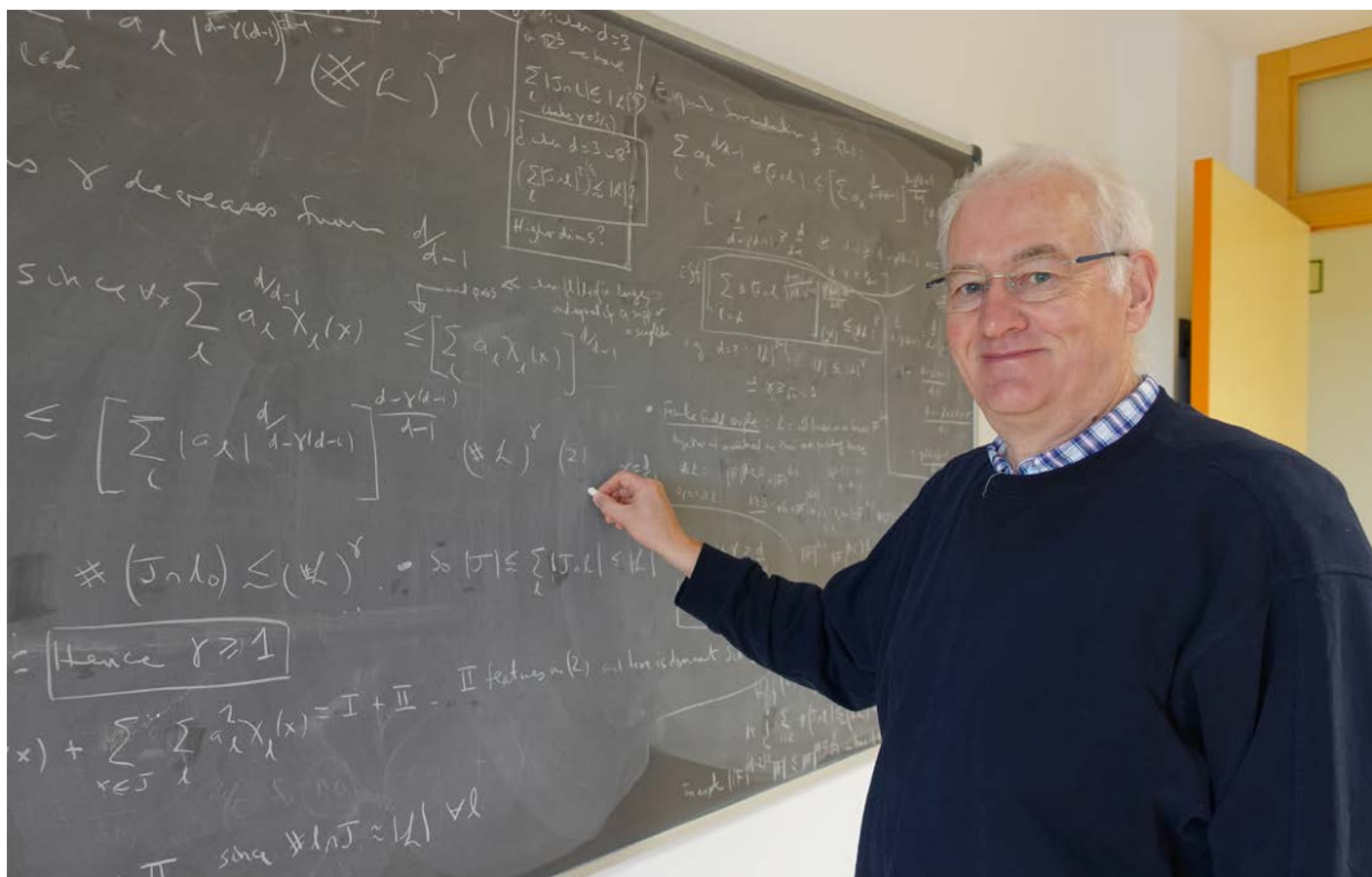
De momento, el Instituto me ha ofrecido un entorno maravillosamente tranquilo para avanzar con mi investigación. Espero que me ofrezca aún más en cuanto a interacción humana y potencial de colaboración, conforme la pandemia vaya yendo a menos.

¿Sobre qué otros temas matemáticos le gustaría saber más?

Dada su actual influencia en análisis armónico, diría que sobre geometría algebraica, pero no es fácil enseñar nuevos trucos a un perro viejo...

Además de matemáticas, ¿qué otras cosas le gustan hacer?

Nadar, caminar, viajar, el lenguaje y la cultura españoles, la música rock, la música clásica, la comida, el vino, la cerveza y conversar con amigos, arreglar el mundo...



Anthony Carbery, catedrático de la Universidad de Edimburgo, es experto en análisis armónico.

CUÉNTAME TU TESIS: Francisco Mengual

Título de la tesis: "Inestabilidades en mecánica de fluidos e integración convexa"

Autor: Francisco Mengual

Directores: Ángel Castro y Daniel Faraco

Fecha: 16 de julio de 2021

La tesis de Francisco Mengual se centra en el estudio de varios problemas en mecánica de fluidos relacionados con la turbulencia. El objetivo es describir la dinámica de fluidos que parten de una inestabilidad hidrodinámica concentrada en una interfase. Para ello, se introduce una "zona de turbulencia", que crece alrededor de la interfase. La construcción de estos fluidos turbulentos se basa en una nueva versión del método de integración convexa, propuesto en hidrodinámica por Camillo De Lellis y László Székelyhidi.

Francisco Mengual

La turbulencia es un fenómeno físico que nos resulta familiar. La mayoría de nosotros la hemos experimentado alguna vez en nuestra vida, ya sea en un avión cuando nos han pedido que nos abrochemos el cinturón de seguridad, o en el mar cuando una ola nos ha zarandeado hasta la orilla. También puede observarse todas las mañanas sin salir de casa, basta con verter la leche en el café y ver cómo estos dos fluidos comienzan a mezclarse formando patrones muy curiosos. De hecho, una característica intrínseca de la turbulencia es que estos patrones pueden observarse en una amplia variedad de escalas, desde pequeñas –como en nuestra taza de café con leche– hasta en escalas enormes, como en las llamaradas solares (causantes de las auroras boreales) o en la explosión de supernovas.

Estos ejemplos nos dan una cierta intuición de qué es la turbulencia: cambios bruscos y caprichosos en las propiedades físicas (como la densidad y la velocidad) de un fluido. De lo contrario, decimos que el fluido se comporta de manera *suave*. Matemáticamente los fluidos se modelan mediante ecuaciones en derivadas parciales. El desarrollo de técnicas matemáticas permite desentrañar algunas cualidades de estas ecuaciones, tales como la existencia, unicidad y propiedades de sus soluciones.

El caso de los fluidos turbulentos sigue siendo un misterio, lo que hace imposible realizar predicciones a largo plazo sobre su evolución. A pesar del esfuerzo considerable de grandes científicos, desde los dibujos de Leonardo da Vinci (hace 500 años) hasta las teorías más modernas de Osborne Reynolds, Andréi Kolmogórov y Lars Onsager (por nombrar algunas), a día de hoy no existe todavía una teoría completa que describa la turbulencia de manera satisfactoria. Según el Premio Nobel en Física Richard Feynman, este es el problema no resuelto más importante de la física clásica.

En mi tesis hemos estudiado varios problemas relacionados con la turbulencia. Estos problemas tratan de un fluido (en dos dimensiones) que es suave en dos regiones del plano separadas por una curva, a la que llamaremos interfase, en la que se produce una discontinuidad. Por ejemplo, podemos pensar

en dos fluidos diferentes (el café y la leche) y la interfase que los separa inicialmente. En algunos casos (por ejemplo, si el fluido más pesado está encima del más ligero) esta interfase es inestable. Esto quiere decir que pequeñas perturbaciones en la interfase, inapreciables a simple vista, terminan aumentando considerablemente, formando a su paso patrones como los que mencionábamos al principio. Esto sugiere la posibilidad de describir la dinámica del fluido como la evolución de tres regiones: dos zonas donde el fluido sigue siendo suave, y una "zona de turbulencia" que comienza a crecer alrededor de la interfase y donde el fluido se comporta de manera irregular.

Aunque la descripción matemática de estos fluidos turbulentos parece prácticamente imposible debido a su naturaleza impredecible, puede hacerse añadiendo términos altamente oscilantes (dentro de la zona de turbulencia) a un fluido más regular, el cual pretende describir las propiedades macroscópicas. Las soluciones a estas modificaciones de la ecuación reciben el nombre de subsoluciones. Esta construcción se basa en la versión innovadora del método de integración convexa introducida en hidrodinámica por Camillo De Lellis y László Székelyhidi en 2009. Esta técnica, cuyo origen se remonta a trabajos de John Nash (1954) y Mijaíl Gromov (alrededor de 1970) en geometría diferencial, ha demostrado ser muy robusta y flexible. Cabe destacar que ha permitido resolver algunos problemas muy relevantes de la turbulencia, como la conjetura de Lars Onsager (Philip Isett 2018) y la no-unicidad de soluciones de la ecuación de Navier-Stokes (Tristan Buckmaster y Vlad Vicol 2019). Además, se ha podido aplicar a multitud de modelos en mecánica de fluidos: la ecuación de transporte, algunas ecuaciones de escalares activos (como IPM y SQG), la ecuación de Euler (compresible e incompresible), la ecuación de Navier-Stokes, la ecuación de MHD (Magnetohidrodinámica), entre otras.

Las soluciones obtenidas con el método de integración convexa coinciden con la subsolución fuera de la zona de turbulencia y, en particular, son suaves. Sin embargo, dentro de la zona de turbulencia hay infinitas soluciones y su comportamiento es irregular. A pesar de la falta de unicidad y regularidad dentro de la zona de turbulencia, probamos, junto con mis directores

de tesis, Ángel Castro y Daniel Faraco, que, refinando el método de integración convexa, es posible seleccionar aquellas soluciones que son prácticamente indistinguibles de la subsolución a nivel macroscópico. Esto recupera en cierto modo la unicidad de la dinámica y enfatiza el papel de la subsolución como la parte macroscópica del fluido.

Otro de los aspectos claves para estudiar la turbulencia es la vorticidad del fluido. La presencia de vorticidad y turbulencia están relacionadas, concretamente, cuando la vorticidad se acumula en regiones pequeñas del espacio. Un ejemplo típico aparece cuando dos bandas de la atmósfera que avanzan a diferente velocidad entran en contacto. Esta discontinuidad induce vorticidad en la interfase que las separa, la cual desencadena una zona de turbulencia donde puede observarse un patrón de espirales que se enrollan. Este fenómeno se conoce como “inestabilidad de Kelvin-Helmholtz”. Para modelar este fenómeno se recurre a la ecuación de Euler incompresible partiendo de una vorticidad concentrada en una curva (como una delta de Dirac), lo que se conoce como *vortex sheet*. La dinámica del *vortex sheet* sirve para modelar algunos fenómenos físicos observados en la atmósfera y los océanos, tales como la estela de un avión y la capa de mezcla oceánica. Este problema, clásico en mecánica de fluidos, había sido estudiado de dos maneras diferentes. El primer enfoque consiste en analizar la evolución de la curva donde se acumula la vorticidad. Sin embargo, de esta forma el problema está mal propuesto –en general la vorticidad no puede continuar acumulada en una sola curva– y solo puede resolverse si el dato inicial es analítico. El segundo enfoque consiste en estudiar la evolución de la vorticidad. En el caso de vorticidad con signo fijo, Jean Delort construyó soluciones globales (de hecho, para una clase de vorticidades más generales) en 1991.

El caso de vorticidad con signo mixto era un problema abierto que, además, tenía su propio interés, tanto por sus aplicaciones prácticas en aerodinámica, como por las complejas estructuras creadas en el entrelazamiento de regiones con vorticidad positiva y negativa. Mediante el método de integración convexa construimos, junto con László Székelyhidi, soluciones al problema del *vortex sheet* cuya vorticidad es no-analítica y puede cambiar de signo. Además, este enfoque permite relacionar la dinámica de la zona de turbulencia y la disipación de energía cinética. Cabe destacar que esta disipación anómala de energía es una predicción de la llamada ley cero de la turbulencia, que afirma que en regímenes turbulentos se produce una disipación anómala de energía que es independiente de la viscosidad cuando esta tiende a cero.

Otro problema clásico que consideramos en la tesis fue el de determinar la evolución de dos fluidos incompresibles (por

ejemplo, agua y petróleo) en un medio poroso. Este se conoce como el problema de Muskat, y su origen se remonta a estudios en ingeniería petrolífera. Cuando el fluido más pesado está totalmente por debajo, la interfase es estable y su dinámica está bien definida. Sin embargo, cuando el fluido más pesado está totalmente por encima, la interfase es inestable: pequeñas perturbaciones en una interfase analítica terminan creando un patrón de dedos donde los fluidos parecen mezclarse. Este fenómeno se conoce como “inestabilidad de Rayleigh-Taylor”. La motivación original de la tesis fue estudiar el problema de Muskat parcialmente inestable.

En 2016, Castro, Córdoba y Faraco construyeron soluciones para el problema de Muskat totalmente inestable introduciendo una “zona de mezcla” dinámica. Para ello combinaron por primera vez la dinámica de interfases con el método de integración convexa en una auténtica obra de orfebrería. En 2012-2013, Ángel Castro, Diego Córdoba, Charles Fefferman, Francisco Gancedo y María López-Fernández probaron que existe una interfase analítica en el régimen totalmente estable, que evoluciona hasta convertirse en una interfase analítica parcialmente inestable (en la que el fluido más pesado está por encima en una región de la interfase) y, más tarde, la analiticidad se pierde en un punto de la región inestable. Conjuntamente con Castro y Faraco, probamos la continuación de la dinámica tras esta singularidad. En este caso, la implementación del método de integración convexa requería localizar la zona de mezcla alrededor de la región inestable y mostrar su compatibilidad con el análisis parabólico en la región estable.

Por último, estudiamos también el problema de Muskat partiendo de dos fluidos con diferentes densidades y viscosidades. En este caso, comprobamos que la conexión, establecida por László Székelyhidi para el caso de viscosidad constante, entre la subsolución y la solución relajada lagrangiana de Felix Otto, se satisface también en el caso de salto de viscosidad. Además, mostramos cómo una singularidad en la relajación impide que los fluidos se mezclen dondequiera que no haya ni inestabilidad de Rayleigh-Taylor ni vorticidad en la interfase.

Todos estos trabajos son una prueba más de la eficacia del método de integración convexa como herramienta para descifrar estructuras ocultas en las ecuaciones de la física. Además, su comprensión nos ayuda a entender fenómenos físicos de gran relevancia práctica. Quedan todavía muchas preguntas abiertas, cuya respuesta requerirá del refinamiento de este método y del desarrollo de nuevas técnicas matemáticas de enorme complejidad.

CUÉNTAME TU TESIS: Patricia Contreras Tejada

Título de la tesis: "Caracterización del entrelazamiento y no localidad cuánticos como recursos en sistemas multipartitos"

Autora: Patricia Contreras Tejada

Directores: Carlos Palazuelos y Julio I. de Vicente

Fecha de defensa: 14 de julio de 2021

La tesis de Patricia Contreras Tejada se centra en un tema de investigación novedoso: los sistemas cuánticos de más de dos partículas. En concreto, ha estudiado configuraciones de este tipo con características de entrelazamiento –en los que no basta una descripción de cada una de las partículas, sino que es necesaria una global– y no localidad –en los que, al observar las partículas, es imposible describir su correlación mediante modelos clásicos–. Para conseguir efectos particulares de sistemas de más de dos partículas se emplean las redes de partículas cuánticas, que también se consideran en la tesis. Por último, Contreras Tejada ha desarrollado un principio físico que sirve de restricción para eliminar teorías poscuánticas, que une la teoría cuántica y el estudio científico del conocimiento.

Patricia Contreras Tejada

La teoría cuántica es una de las teorías científicas más relevantes del último siglo. Su caracterización matemática, bien avalada por experimentos, proporciona un conocimiento nunca visto sobre la naturaleza, ya que es la mejor teoría a nivel explicativo y predictivo que se conoce hasta ahora. Algunas de las predicciones de esta teoría generan conflictos a nuestra intuición, detrás de los cuales están, en muchos casos, dos fenómenos que son exclusivamente cuánticos: el entrelazamiento y la no localidad. El estudio de estos fenómenos en sistemas de más de dos partículas –llamados multipartitos– es el foco principal de mi tesis.

Los sistemas cuánticos multipartitos han cobrado protagonismo recientemente en el desarrollo de la cuántica, tanto para comprender el comportamiento de los componentes más fundamentales de la naturaleza como para implementar la gran cantidad de aplicaciones basadas en este tipo de sistemas y desarrollar otras nuevas. Estos sistemas son difíciles de controlar en el laboratorio, con lo que no es fácil estudiarlos experimentalmente. Por eso es clave realizar un análisis teórico completo de ellos. Sin embargo, debido a la complejidad matemática de su descripción, los avances en este terreno han sido mucho más modestos que los que conciernen a estados de dos partículas (o bipartitos).

En la tesis tratamos de averiguar qué configuraciones de estos sistemas son más *útiles*. Aunque la noción de utilidad varía según el contexto, en términos generales, aspiramos a conseguir sistemas que tengan más entrelazamiento o más no localidad.

El entrelazamiento es una propiedad de los estados cuánticos, que son las expresiones matemáticas que utilizamos para describir estos sistemas. Un estado de dos partículas está entrelazado si la descripción de cada una de las partículas no es suficiente para describir el sistema completo, sino que es necesaria una descripción global. Midiendo cada una de las partículas que conforman el estado es posible obtener las correlaciones entre los resultados de estas medidas. La no localidad se da

cuando es imposible encontrar un modelo clásico (es decir, no cuántico) que explique estas correlaciones.

Los conceptos de entrelazamiento y no localidad se vuelven más complejos para los estados cuánticos de más de dos partículas. Nos centramos en el entrelazamiento y no localidad *multipartitos genuinos*, que, dentro del marco de la tesis, son las propiedades más útiles que podemos tener en un sistema cuántico.

En estados puros (es decir, sin ruido) de dos partículas el estado más útil es el llamado máximamente entrelazado. La obtención de esta jerarquía es el resultado de tratar de ordenar los estados de más de dos partículas en función de su utilidad. Este marco se conoce como *teoría de recursos*.

Recientemente se ha tratado de extender esta teoría a estados multipartitos, pero se han encontrado problemas importantes que hacen imposible encontrar una teoría de recursos para estos estados, con las transformaciones entre estados cuánticos que es físicamente razonable permitir.

Ante este impedimento, en la tesis proponemos una nueva teoría de recursos ampliando el conjunto de transformaciones permitidas. No solo no genera los problemas anteriores, sino que da lugar a un estado máximamente entrelazado en el sentido multipartito genuino, que es único. Es un hito que no se había logrado hasta ahora y que abre nuevas vías para poder cuantificar este tipo de entrelazamiento.

Por otro lado, en la tesis también hemos estudiado las redes de partículas cuánticas, que generan un gran interés en el campo de las tecnologías cuánticas porque constituyen una manera accesible de conseguir efectos multipartitos, sin una exigencia tecnológica mayor de la necesaria para entrelazar pares de partículas. En estas redes se comparten estados entrelazados entre pares de agentes, y cada agente está conectado de esta manera a uno o varios más.

Primero, asumimos que todos los estados compartidos son puros, es decir, sin ruido. En ese caso, se sabe que todas las redes

conexas de estados puros bipartitos entrelazados son entrelazadas, en el sentido multipartito genuino (condición necesaria para ser no locales), pero ¿qué redes dan lugar a la no localidad multipartita genuina? Sorprendentemente, esto ocurre para todas las redes: cualquier red conexa de estados puros bipartitos entrelazados es no local, en el sentido multipartito genuino. Este resultado desvela una propiedad fundamental de estas redes, hasta ahora desconocida.

Sin embargo, no podemos quedarnos en el caso sin ruido, ya que es fundamental tenerlo en cuenta de cara a implementar aplicaciones con redes cuánticas como el internet cuántico. En esta situación, demostramos que no toda red es válida para estas aplicaciones: al contrario que en las redes de estados puros, la geometría juega un papel primordial. Las redes menos conexas dejan de estar entrelazadas conforme aumenta el número de nodos para cualquier nivel de ruido. En el otro extremo, las redes completamente conexas conservan el entrelazamiento para cualquier nivel de ruido por encima de un umbral y para cualquier número de nodos. En un momento en el que la investigación acerca del internet cuántico está en auge, conocer sus limitaciones fundamentales es crucial para no dar pasos en falso.

El último capítulo de la tesis desarrolla un principio físico que sirve de restricción para eliminar teorías poscuánticas que describan los resultados experimentales disponibles, de manera que se pudiera establecer que la cuántica es la mejor teoría para describir el mundo que conocemos. Este tipo de principios permiten integrar nuestro conocimiento de la naturaleza y entender por qué el mundo cuántico se comporta de la manera en que lo hace. El principio tratado en la tesis está inspirado en un resultado muy influyente en el estudio científico del conocimiento. En concreto, demostramos que dos observadores cuánticos no pueden tener *certeza común de desacuerdo* sobre

eventos perfectamente correlacionados. En el marco clásico, esta imposibilidad es un indicador de coherencia epistémica, por lo que argumentamos que el principio de no desacuerdo debería darse en cualquier teoría de la naturaleza.

Nuestra aportación no solo suma un principio físico a la lista, sino que lo hace uniendo dos campos de conocimiento hasta ahora desligados: la teoría cuántica y el estudio científico del conocimiento. Esta disciplina ha tenido una gran repercusión en economía, caracterizando situaciones en las que varios agentes hacen apuestas velando por sus intereses individuales, cada uno disponiendo de información diferente. El trabajo de esta tesis permite extender estos resultados a un escenario donde los agentes comparten recursos cuánticos, por ejemplo, si están conectados al internet cuántico. Estas situaciones económicas serán realistas en un futuro no muy lejano.

La tarea de restringir las posibles teorías de la naturaleza a través de principios externos es compleja. Hemos propuesto un paso en esta dirección que, además, da lugar a conexiones estrechas entre la información cuántica y el estudio científico del conocimiento. Surge naturalmente la pregunta de confirmar si este principio es intrínseco a la naturaleza, o si es posible generar correlaciones experimentales que no lo satisfacen. Por otro lado, completar la lista de principios físicos que puedan caracterizar la teoría cuántica dotaría de una base operacional muy sólida a la mejor descripción de la naturaleza que tenemos actualmente.

Otras preguntas que surgen de la tesis son la posibilidad de medir el entrelazamiento multipartito de una manera única, si es posible generar no localidad multipartita genuina utilizando un único estado entrelazado sin ruido, y las geometrías necesarias para obtener no localidad multipartita con redes de estados con ruido.

SHE DOES MATH: Tatiana Toro (Universidad de Washington)

Imagen: MSRI



Tatiana Toro ha sido nombrada directora del Mathematical Sciences Research Institute (MSRI) para el periodo 2022-2027.

Tatiana Toro es miembro de la Universidad de Washington desde 1996 y ha sido elegida recientemente directora del Mathematical Sciences Research Institute de Estados Unidos, cargo del que tomará posesión en agosto de 2022 y que asumirá durante cinco años. La investigadora es una de las mayores expertas en teoría geométrica de la medida, ecuaciones diferenciales parciales, análisis armónico, cálculo de variaciones. Por ello, ha recibido importantes reconocimientos como la invitación que le permitió impartir una conferencia en el Congreso Internacional de Matemáticos de 2010 de Hyderabad (India), la beca Guggenheim que recibió en 2015, su elección como *fellow* de la American Mathematical Society (AMS) o como miembro de la Academia Estadounidense de Artes y Ciencias en 2020, entre otros.

Campos de investigación: teoría geométrica de la medida, ecuaciones diferenciales parciales, análisis armónico, cálculo de variaciones.

“No tenía ni idea de lo que se hacía con un grado en Matemáticas, pero no me importaba”, confiesa [Tatiana Toro](#) (Bogotá, Colombia, 1964), investigadora de la Universidad de Washington desde 1996 y [recién elegida directora del MSRI](#) (Mathematical Sciences Research Institute) de Estados Unidos.

Toro se dio cuenta de que le gustaban las matemáticas cuando tenía seis o siete años, ya que disfrutaba con los juegos manipulativos que les proponían en su colegio, pero no pensaba que se podría dedicar a ello. Hasta Bachillerato no supo que existía la posibilidad de estudiar una carrera de Matemáticas. Se acuerda del año exacto en que tomó la decisión de que la haría, 1981, porque fue cuando participó en la Olimpiada Matemática Internacional representando a su país, Colombia. “Allí conocí a muchos estudiantes del grado y pensé: ‘si existe

esa opción, yo también la quiero hacer”’. Fue la primera ocasión en la que un equipo colombiano participaba en la competición y Toro fue, por lo tanto, la primera mujer de su país en hacerlo –y única hasta años después–. “De unos 186 participantes en total, creo que solo éramos seis mujeres; de ellas, tres de nosotras al final hemos acabado siendo profesoras de Matemáticas”, comenta.

Aunque estudió en Bogotá, Toro ha desarrollado el resto de su carrera profesional en Estados Unidos. “Al terminar el grado, sabía que la única manera de seguir aprendiendo y descubrir cosas sobre matemáticas era continuar con un doctorado. Enseguida encontré a la persona que pensaba que iba a ser un buen orientador –Leon Simon–, el tema me gustaba y lo comencé sin pensar demasiado”, explica.

El tema de su tesis, que leyó en 1992 en la Universidad de Stanford, se englobaba dentro del campo de la teoría geométrica de la medida, un área en la que aún hoy sigue trabajando. También le interesan las ecuaciones diferenciales parciales, el análisis armónico y el cálculo de variaciones. “Una de las cosas que he hecho de manera exitosa es transferir, junto con mis colaboradores, ideas de teoría geométrica de la medida a otras áreas de las matemáticas”, comenta. Así, sus trabajos son una combinación de diferentes enfoques. Ilustra con el siguiente ejemplo una de las ideas de su campo de trabajo: “Imaginémonos que tenemos un alambre en el espacio, que está torcido, y queremos encontrar la superficie de área más pequeña que podemos ajustar para que sea la frontera de este alambre. El cálculo de las variaciones trata de establecer cuál es el mínimo de esta área y cómo lo encontramos. Para ello, se necesita tener una clase de objetos para medir si las superficies tienen área mínima o no. Esta clase se define con la teoría geométrica de la medida. Para ver si los objetos son suaves o no, usamos ecuaciones diferenciales parciales”.

Algunos de los proyectos en los que actualmente trabaja están relacionados con el siguiente tipo de pregunta: dado un número de puntos dispersos en $\mathbb{R}^3$, ¿es posible encontrar una superficie que pase por todos esos puntos y tenga buenas propiedades? Junto a sus colaboradores, Toro ha conseguido encontrar condiciones que garanticen que esto es posible. Una de las preguntas abiertas sobre el tema es si las superficies estudiadas por Stephen Semmes a principios de los noventa son de tipo *bilipschitziano*. Toro cree que no: “estamos trabajando en construir un contraejemplo a esto”, afirma.

Otro de sus resultados recientes lo ha realizado junto con José María Martell, director del ICMAT, Steve Hoffmann (University of Missouri), Svitlana Mayboroda (University of Minnesota) y Zihui Zhao (University of Chicago). [Este](#) consiste en una clasificación de la suavidad de un conjunto en $\mathbb{R}^3$, en términos del comportamiento de las ecuaciones diferenciales parciales en ese dominio. “Es un resultado en el que se establece en ciertas clases la equivalencia entre las propiedades geométricas de un dominio y las propiedades analíticas de las soluciones de ecuaciones diferenciales parciales”, explica Toro. “El proceso fue

muy divertido. Coincidimos en el MSRI y me acuerdo muy bien de una discusión que tuvimos al aire libre; se aprende mucho con este tipo de discrepancias, o cuando tus colaboradores no entienden algo y tienes que hacer el esfuerzo de explicárselo y ver si realmente algo es como creías o no”.

En la actualidad, la investigadora también trabaja en preguntas abiertas sobre geometrías diferentes a la común; por ejemplo, en una en la que las bolas, en lugar de esferas, son como pelotas de fútbol americano. “Hay preguntas muy sencillas que no sabemos responder en esta geometría”, comenta.

Entre los logros de su carrera destaca haber tenido la oportunidad de impartir una ponencia en el [Congreso Internacional de Matemáticos \(ICM\) celebrado en 2010 en Hyderabad, India](#). “Nunca se me había pasado por la cabeza que me fueran a invitar, pero había sido un año difícil desde el punto de vista personal y significó mucho más para mí por ese motivo”, relata Toro.

En agosto de 2022 tomará posesión de su nuevo cargo como directora del MSRI, una institución en la que lleva años involucrada como parte del comité científico. “Creo que desde el instituto se pueden hacer muchas cosas como seguir estimulando la excelencia científica”, explica. Y no solo eso, sino también contribuir al desarrollo de las matemáticas y su comunidad desde diferentes perspectivas, como la educativa, la divulgación del valor de las matemáticas o la atracción de grupos infrarrepresentados en la disciplina. “Queremos seguir con determinadas líneas de actuación exitosas y ampliarlas al resto del país, como el programa de verano de ayudas para mujeres matemáticas, que les permite dedicarse solo a investigar durante dos o tres semanas, o el programa de acogida en el instituto de estudiantes de pregrado de comunidades tradicionalmente infrarrepresentadas en ciencias matemáticas”, explica Toro. “Sobre todo, me preocupa ver que, en el marco de género, no estamos donde quisiéramos, o donde deberíamos estar, y la pandemia puede haber tenido un efecto negativo en las mujeres jóvenes con aún puestos temporales, estamos trabajando en ver qué pasa con ellas desde uno de los comités del MSRI”, concluye.

PERFIL: Alba Dolores García Ruiz (ICMAT-CSIC)

“Estoy aprendiendo a aplicar las matemáticas a problemas reales”

Imagen: Alba García Ruiz



Alba Dolores García Ruiz comenzó su doctorado en el ICMAT en octubre de 2021.

Pedro Mateos

Alba Dolores García Ruiz acaba de comenzar su tesis en el ICMAT, dentro del proyecto del Consejo Europeo de Investigación (ERC) “Analysis of geometry-driven phenomena in fluid mechanics, PDEs and spectral theory”, bajo la tutela de Alberto Enciso Carrasco y Daniel Peralta Salas. La teoría espectral y las ecuaciones en derivadas parciales (EDP) constituyen unos de sus temas predilectos: “Lo que me gusta de las EDP es que a cada ecuación debes tratarla de un modo distinto. Siempre que surge un problema nuevo, tienes que volver a buscar herramientas desde cero. Debes ir haciendo un poco tuyo el problema que debes tratar. Tienes la sensación de pasar muchas veces por el mismo camino y, cada vez que lo haces, descubres un detalle nuevo que antes desconocías”, afirma.

Las matemáticas le han emocionado desde su época en el instituto. “Lo que más disfrutaba de ellas era entenderlas, darles vueltas en mi cabeza y explicárselas a la gente. Tras asistir a una olimpiada matemática regional, me di cuenta de que era el camino que quería seguir”, explica García. La universidad reafirmó su voluntad desde el principio. “La carrera me borró el esquema mental que traía de antes y me generó uno nuevo mediante el cual fui capaz de comprender las cosas de otra manera”, relata.

En el cuarto curso de la carrera, recibió una beca de investigación dirigida por José Cañizo (Universidad de Granada), con la que realizó un estudio de las soluciones de las EDP no locales. Después, consiguió una beca JAE de introducción a la investigación con la que pudo asistir a la escuela JAE y comenzar a colaborar con Alberto Enciso. Además, mientras cursaba el Máster en Matemáticas y Aplicaciones en la Universidad Autónoma de Madrid (UAM), obtuvo una beca JAE SOMdM con la que pudo investigar de forma paralela al desarrollo del máster, en este caso sobre localización inversa y la teoría de aproximación global, también con Enciso.

Alba Dolores García Ruiz (Linares, Jaén, 1998) se interesó por las matemáticas cuando era muy joven, lo que la impulsó a cursar la carrera en la Universidad de Granada. Aunque le gustó especialmente el campo de las ecuaciones en derivadas parciales, su trabajo final de grado versó sobre geometría. Tras realizar el máster de iniciación a la investigación y aplicaciones de las matemáticas de la Universidad Autónoma de Madrid, ha comenzado un doctorado en el ICMAT bajo la dirección de Alberto Enciso y Daniel Peralta. No es su primer contacto con la investigación: fue beneficiaria de una beca JAE de introducción a la investigación y también de una de las becas de colaboración en centros de excelencia Severo Ochoa y unidades de excelencia María de Maeztu - CSIC JAE INTRO SOMdM. En el futuro, le gustaría aprender más acerca de la física matemática.

Subraya que, durante el doctorado, está “aprendiendo a aplicar las matemáticas que estudié durante la carrera a problemas reales”. Y, aunque la pandemia del coronavirus ha afectado a su trabajo, afirma estar saboreando cada instante.

García define sus primeros momentos de investigación en el ICMAT como “deambular por un sitio que no conoces pero que tienes muchas ganas de descubrir”. Admite que fue un choque significativo para ella pasar de ver a los investigadores del ICMAT como personas lejanas cuya labor era incomprensible a hablar con ellos personalmente. “He podido personificar a los matemáticos que llevo viendo toda la carrera, y me he sentido arropada y acogida”, expresa la joven investigadora. El apoyo de Enciso fue clave para que García asimilara materias que antes consideraba inaccesibles. “También Carolina Vallejo (ICMAT-UC3M) y Eva Gallardo (ICMAT-UCM) me han ayudado a ver ciertas ideas matemáticas de forma sencilla. Realizaron cursos en la escuela JAE muy accesibles y me dieron una muy buena impresión de cómo se trabaja aquí”, añade.

Al margen del universo científico, García profesa una profunda pasión por los libros. “Me han llenado desde siempre. Antes de centrarme en las matemáticas escribía mucho; ahora menos, pero sigo leyendo muchísima novela y poesía”, cuenta. Últimamente, se encuentra enfrascada en *Matemática demente*, de Lewis Carroll, una obra que “utiliza la lógica y la matemática para abordar situaciones de la vida cotidiana, todo ello mezclado con literatura”, narra García. Asimismo, se declara entusiasta de los problemas que combinan números y filosofía: “Llevo tiempo dándole vueltas a la paradoja de Aquiles y la tortuga, me fascinan las cuestiones sobre el infinito”, afirma. En su tiempo libre, aparte de hacer voluntariado, le encantan el senderismo y el turismo: “Mochila al hombro y viajar, de ciudad en ciudad o por el campo”. Para los futuros matemáticos, tiene un consejo directo: “Si están dudando si seguir, les recomiendo que continúen, porque merece la pena”.

PERFIL: Leo Margolis (ICMAT-CSIC)

“Quiero aproximarme a nuevos problemas y disfrutar de las matemáticas”

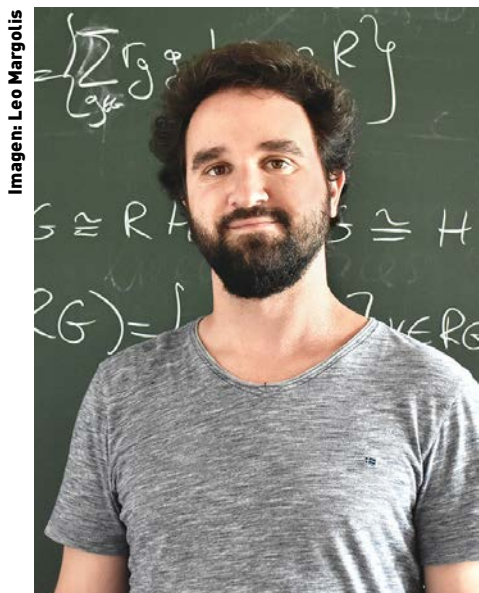


Imagen: Leo Margolis

Leo Margolis se incorporó en agosto de 2021 al ICMAT.

Leo Margolis (Samara, Rusia, 1988) llegó en agosto de 2021 al ICMAT, donde está realizando una estancia postdoctoral dentro del área de teoría algebraica de grupos. Antes, realizó su doctorado en Stuttgart, Alemania, y después tuvo contratos postdoctorales en la Universidad de Murcia y en la Vrije Universiteit Brussel, Bélgica. El año pasado recibió, junto al investigador Florian Eisele, el Reinhold Baer Prize 2020 por su solución de la conjetura de Zassenhaus, un problema matemático que llevaba abierto casi medio siglo. Sus principales temas de interés son los isomorfismos y los anillos grupales, sobre los que ha publicado decenas de artículos y dado numerosas conferencias y charlas desde 2011.

Pedro Mateos

Desde que era un niño, Margolis se sintió atraído por las matemáticas y, como él mismo reconoce, se le dieron muy bien desde la escuela. “Mi pasión nació durante la infancia, con juegos matemáticos como la torre de Hanói o uno donde debías hacer mediciones con una moneda”, relata. Cuando tuvo que elegir el rumbo de su carrera profesional, tenía claro que quería dedicarse al mundo de las matemáticas.

“Mi etapa de investigación comenzó con mi proyecto final del máster, aunque el momento clave para mí fueron unos ejercicios sobre teoría de grupos que enfrenté en la universidad, antes del máster”, rememora Margolis. Recuerda que miró la hoja con las preguntas y no entendió absolutamente nada. “Sin embargo, después de leer un poco de teoría, lo concebí inmediatamente y todo se resolvió en mi cabeza. Fue mi primera experiencia dentro del mundo del álgebra y me di cuenta de que, aunque en un principio es complicado, una vez que te adaptas y comprendes cómo funciona, se convierte en algo trivial para ti”, confiesa.

Su tesis, que defendió en la Universidad de Stuttgart y fue dirigida por el matemático Wolfgang Kimmerle, trató sobre los llamados anillos de grupo. “En aquel momento, trabajamos con espacios vectoriales; sistemas donde, tomando una base, puedes extender una multiplicación a todo el anillo grupal”, narra. “La tesis ensanchó mis horizontes y me ayudó a desarrollar nuevas ideas con las que seguir trabajando dentro de este camino”. Sus intereses continúan hoy siendo similares: sigue estudiando estas estructuras vectoriales y cómo se interconectan sus diferentes objetos entre sí.

Al finalizar su postdoctorado en Bélgica, volvió a retomar algunas ideas en las que había iniciado en su tesis. “Lo primero que abordé fue la conjetura de Zassenhaus, de los años 1970”, dice Margolis. Fue durante su estancia como investigador postdoctoral en la Universidad de Murcia cuando [la resolvió, tras en-](#)

[contrar un contraejemplo](#). El resultado le valió un prestigioso premio de la Universidad Libre de Bruselas.

Desde su entrada en el ICMAT, se ha topado con una “atmósfera muy agradable”. “El edificio es bonito y tenemos un grupo de investigación muy activo, que me gusta mucho. También he conocido a muchas personas con las que, pese a estudiar cuestiones distintas a las mías, he tenido la oportunidad de mantener interesantes conversaciones matemáticas”, explica Margolis. “He tenido mucha relación tanto con estudiantes como con profesores, algo que me ha motivado mucho, después de los momentos difíciles que hemos vivido en los últimos años”, resalta. Espera avanzar con su investigación y resolver algunos problemas en los que está interesado. “Quiero aproximarme a nuevos problemas, tener muy buenas experiencias de investigación y disfrutar de las matemáticas”, apunta.

En su tiempo de ocio, le entusiasman la literatura y el cine clásicos. “También me gusta aprender idiomas. Nací en Rusia y crecí en Alemania, así que sé ambas lenguas desde la infancia, más el inglés, por supuesto. Además, en Bélgica aprendí algo de holandés y ahora quiero seguir mejorando mi nivel de español”, afirma.

Durante su estancia en Bruselas, realizó un proyecto universitario que consistió en elaborar un traje para la famosa escultura Manneken Pis relacionado con el teorema de Pitágoras. ¿La razón? “Nunca antes se había confeccionado un disfraz matemático para esta estatua”, explica.

Su libro de matemáticas favorito es una obra sobre teoría clásica de grupos de Bertram Huppert. “No ha sido traducida del alemán, aunque los dos siguientes volúmenes sí están disponibles en inglés. Es una pena porque es fantástico y contiene muchos resultados muy importantes”, asegura. Aunque no trata de predecir su vida demasiado en el largo plazo, quizá algún día sea profesor. “De momento, quiero terminar mi labor en el ICMAT y después seguir investigando o enseñar, ya sea en España o en algún otro sitio”, declara el joven investigador.

RESEÑA CIENTÍFICA: Construyendo fluidos de Euler en dimensión tres Turing-completos

Título: "Constructing Turing complete Euler flows in dimension 3".

Autores: Robert Cardona (IRMA-Université de Strasbourg), Eva Miranda (UPC, CRM), Daniel Peralta-Salas (ICMAT-CSIC) y Francisco Presas (ICMAT-CSIC).

Fuente: *Proceedings of the National Academy of Sciences* vol. 118, no. 19.

Fecha de publicación: 11 de mayo de 2021.

Enlace: <https://www.pnas.org/content/118/19/e2026818118>

Resumen

Una máquina de Turing es un dispositivo teórico capaz de manipular un conjunto de símbolos impresos sobre una cinta, siguiendo ciertas reglas. Lo interesante es que cualquier algoritmo se puede describir empleando máquinas de Turing. Además, el poder computacional de los sistemas físicos se puede medir en función de su capacidad para simular una máquina de Turing universal. Durante las últimas décadas, se ha mostrado que varios procesos físicos se pueden simular con máquinas de Turing -lo que se denomina completitud Turing-: desde problemas de trazado de rayos en sistemas ópticos 3D hasta redes neuronales o teorías de campos topológicos no abelianas. Por otro lado, la completitud Turing de un sistema físico se relaciona con la indecidibilidad de su evolución, que puede entenderse como un tipo de complejidad totalmente distinto del comportamiento caótico.

Hasta el momento, se sabe muy poco del poder computacional de la dinámica de fluidos. En 1991, Chris Moore preguntó si es posible que un fluido simule una máquina de Turing universal. Esta pregunta ha sido recientemente considerada por Terence Tao, en relación con el estudio de la regularidad de las ecuaciones de Euler y de Navier-Stokes. En concreto, Tao especula con la relación entre un posible estallido de las ecuaciones de Navier-Stokes, la completitud Turing y la computación fluida.

En el artículo que se resume los autores construyen un flujo de fluido incompresible y estacionario sobre una esfera riemanniana de dimensión tres, que es Turing-completo. Esto implica que no existe un algoritmo capaz de garantizar que cualquier partícula del fluido vaya a pasar por cierta región del espacio en tiempo finito. Esta incapacidad de predicción puede verse como una nueva manifestación del comportamiento turbulento de los fluidos.

El flujo de un fluido incompresible y estacionario sobre un espacio riemanniano (M, g) de dimensión tres se describe mediante las ecuaciones estacionarias de Euler:

$$\begin{cases} \nabla_X X = -\nabla P, \\ \operatorname{div} X = 0, \end{cases}$$

donde X es el campo de velocidades del fluido (un campo de vectores autónomo sobre M), P es la presión hidrodinámica y $\nabla_X X$ denota la derivada covariante de X a lo largo de X .

Para construir el flujo de Euler Turing-completo, los autores emplean campos de Beltrami, una clase especialmente relevante de soluciones estacionarias de las ecuaciones de Euler. Son campos de vectores X sobre (M, g) de divergencia nula que satisfacen la siguiente ecuación:

$$\operatorname{curl} X = \lambda X$$

para alguna constante $\lambda \neq 0$. El operador $\operatorname{curl} X$ se define como el único campo vectorial en M que satisface

$$i_{\operatorname{curl} X} \mu_g = d(i_X g)$$

donde μ_g es la forma de volumen riemanniana.

En este trabajo, el punto clave que aportan los campos de Beltrami es su fuerte contenido geométrico. De hecho, como observó Dennis Sullivan y desarrollaron John Etnyre y Robert Ghrist, cualquier campo de Beltrami no nulo define una estructura de contacto en M , al revés, el campo de Reeb de una forma de contacto es un campo de Beltrami para alguna métrica riemanniana adaptada. Esta correspondencia Reeb-Beltrami ha resultado ser tremendamente útil para construir flujos de Euler estacionarios con dinámicas complejas: primero, se construye un campo de Reeb con las propiedades buscadas (haciendo uso de la flexibilidad de los mundos de contacto y simplécticos) y gracias a la correspondencia anterior, se consigue un campo de Beltrami para cierta métrica.

Para construir el flujo de Reeb Turing-completo, los autores emplean la relación profunda que existe entre las máquinas de Turing y la dinámica simbólica. La máquina de Turing recibe, como datos de entrada, una secuencia de ceros y unos y, después de un número de pasos, ofrece un resultado, también formado por ceros y unos. De forma más precisa: una máquina de Turing se define como $T = (Q, q_0, q_{\text{halt}}, \Sigma, \delta)$, donde Q es un conjunto finito de estados, incluyendo un estado inicial q_0 y un estado de parada q_{halt} , Σ es el alfabeto, y $\delta: (Q \times \Sigma) \rightarrow (Q \times \Sigma \times \{-1, 0, 1\})$ es la función de transición. El input de una máquina de Turing es el estado actual $q \in Q$ y la secuencia $t = (t_n)_{n \in \mathbb{Z}} \in \Sigma^{\mathbb{Z}}$. Si el estado actual es q_{halt} , entonces el algoritmo para y devuelve t como output. En caso contrario, calcula $\delta(q, t_0) = (q', t'_0, \varepsilon)$, reemplaza q por q' , t_0 por t'_0 y t por la secuencia ε -trasladada.

Si podemos simular cualquier máquina de este tipo con un sistema dinámico sobre M , como por ejemplo, un flujo de Euler, entonces el sistema dinámico es Turing-completo. Esto quiere decir que la parada de cualquier máquina de Turing con un cierto input es equivalente a que cierta trayectoria de la dinámica interseque cierto conjunto abierto en M . Esto se puede entender como un ordenador fluido: toma como dato de entrada un punto en el espacio, lo procesa siguiendo la trayectoria del fluido en ese punto y ofrece como resultado la siguiente región a la que el fluido se ha movido.

Los autores son capaces de construir un tipo de función que es Turing-completo, en concreto un difeomorfismo del disco $\varphi: D \rightarrow D$, que preserva el área. Para ello, emplean la teoría de generalized shifts desarrollada por Moore al comienzo de la década de 1990. En concreto, la restricción de esta función φ al conjunto Cantor cuadrado es conjugada a la función de transición de una máquina de Turing universal (usando una asignación canónica entre las configuraciones de una máquina de Turing y los puntos del conjunto de Cantor cuadrado).

Entonces, los investigadores aplican una técnica de suspensión de geometría simpléctica que también emplea el método del camino de Moser para embeber la función φ como la aplicación de Poincaré en cierta sección del campo de Reeb R definido en la 3-esfera. R es también Turing-completo por construcción, así como todas las computaciones asociadas a la máquina universal de Turing tienen lugar en un subconjunto

compacto de un toro sólido. Por tanto, la correspondencia Reeb-Beltrami anteriormente mencionada implica la existencia de una métrica riemanniana g sobre S^3 tal que R cumple la ecuación $\text{curl}_g R = R$, por lo que se convierte en un campo de Beltrami en (S^3, g) . Además, esta métrica g es la canónica en el complemento del toro sólido T , lo que completa la demostración del teorema.

RESEÑA CIENTÍFICA: Soluciones débiles para el problema de Muskat en el régimen inestable

Título: "Mixing solutions for the Muskat problem".

Autores: Ángel Castro (ICMAT-CSIC), Diego Córdoba (ICMAT-CSIC) y Daniel Faraco (ICMAT-UAM).

Fuente: *Inventiones mathematicae* volume 226, pages 251–348 (2021).

Fecha de publicación: 5 de mayo de 2021.

Enlace: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00222-021-01045-1>

Resumen

El problema de Muskat estudia la evolución de los fluidos incompresibles en un medio poroso, como, por ejemplo, agua y combustible en arena. En el régimen inestable, aquel en el que hay una parte del fluido más pesado por encima del más ligero, la teoría clásica falla catastróficamente. Sin embargo, una larga lista de experimentos y simulaciones por ordenador predicen que los dos fluidos se mezclan de forma estocástica e impredecible en una región que va creciendo con el tiempo, llamada zona de mezcla. Durante años, el problema analítico parecía inalcanzable, con excepción del caso de interfaces planas, sobre el que existen resultados parciales de Felix Otto y László Székelyhidi.

En el trabajo reseñado, Ángel Castro (ICMAT-CSIC), Diego Córdoba (ICMAT-CSIC) y Daniel Faraco (ICMAT-UAM) combinan diversas técnicas –compacticidad compensada, integración convexa, dinámica de contorno y análisis semiclásico– para obtener soluciones débiles para el problema de Muskat en el régimen inestable.

El método de integración convexa está relacionado con la teoría de Tartar de compacticidad compensada. Este método codifica el comportamiento macroscópico de microestructuras a nivel mesoscópico. Estudia ecuaciones en derivadas parciales no lineales y los fenómenos subyacentes a través de límites débiles. Los límites débiles son especialmente adecuados para estudiar los regímenes turbulentos, ya que tienen en consideración todas las posibles interferencias de escalas de varias longitudes, en contraposición a las ecuaciones de filtros bajos.

El conjunto de límites débiles se denomina la relajación de la ecuación. La teoría de compacticidad compensada describe estos límites geoméricamente a través de la convexidad direccional. En el caso de fluidos incompresibles en un medio poroso, la relajación se entiende completamente y se presenta en trabajos previos de Córdoba, Faraco y Francisco Gancedo, y de Székelyhidi Jr. Destaca el [trabajo reciente de Francisco Mengual](#) donde se relaciona explícitamente la estructura de la relajación y las inestabilidades hidrodinámicas.

El método de integración convexa comenzó con la solución de Nash-Kuiper al problema de las inmersiones isométricas. Ofrece un procedimiento para obtener una solución, partiendo de la solución relajada y añadiendo soluciones aproximadas con oscilaciones convenientemente localizadas. Reflejando el carácter estocástico inherente al problema, existen infinitas subsoluciones de este tipo, asociadas a la solución relajada, pero las propiedades observables de la solución, su comportamiento macroscópico, [están totalmente definidas por la solución relajada](#).

Sin embargo, también es muy complicado encontrar subsoluciones. En el trabajo reseñado los autores construyen una subsolución cuya densidad dentro de la zona de mezcla es una interpolación de los valores de la densidad del fluido pesado y del ligero. La zona de mezcla se describe como una envoltura, que depende de cada punto, de una pseudo interfaz que varía con el tiempo.

Con este *ansatz*, se fuerza a que la pseudo interfaz cumpla una ecuación no lineal y no local, que es un doble promedio del problema de Muskat clásico. El orden de esta ecuación evoluciona según un símbolo $p(x, t \setminus k)$, donde t es el tiempo. Este símbolo se degenera cuando t tiende a cero, por lo que la solución es tratar t como el pequeño parámetro análogo a la constante de Planck en el mundo semiclásico, pero el símbolo no es suave, lo que impide que se pueda aplicar la teoría clásica. De hecho, [un resultado reciente](#) explica el impacto de este trabajo en el mundo semiclásico.

En el artículo reseñado los matemáticos ofrecen un método para transformar problemas mal planteados en dinámica de fluidos en otros bien planteados, con la presencia adicional de evoluciones macroscópicas predichas. En un resultado posterior, los autores han sido capaces de prolongar la solución, después de [la ruptura de la condición de Rayleigh-Taylor y de la suavidad](#) obtenidas por Castro, Córdoba, Charles Fefferman, Gancedo y María López-Fernández.

ACTUALIDAD MATEMÁTICA: Noticias ICMAT

Resultados de investigación

Matemáticas para enfrentar los aspectos éticos de la conducción autónoma

Imaginemos que, ante un fallo repentino del sistema de frenado, un vehículo autónomo –es decir, cuya conducción ejecuta total o parcialmente un ordenador– pudiera escoger entre dos opciones: continuar recto, lo que resultaría en la muerte de tres peatones, o girar, chocando con un muro, lo que causaría la muerte de los cinco ocupantes del vehículo. ¿Cuál debería elegir? ¿Quién debería tomar esa decisión?

Nuevos modelos matemáticos, propuestos por Roi Naveiro y David Ríos, investigadores del ICMAT, junto con William N. Caballero (United States Air Force Academy), ofrecen herramientas para enfrentar este tipo de consideraciones éticas que aparecen en el uso de vehículos autónomos de manera transparente.

Los modelos tienen en cuenta objetivos múltiples –rendimiento, duración del viaje, seguridad de los pasajeros, de los peatones, del propio vehículo...– para la toma de decisiones, cuya importancia determina el fabricante. El interés de este enfoque reside en el hecho de que es posible simular múltiples escenas de conducción, usando la perspectiva elegida por el fabricante para guiar las decisiones del coche autónomo. Además, se puede emplear para establecer responsabilidades en caso de accidente.

Su trabajo ha sido publicado el pasado mes de octubre en la revista *Decision Analysis*; y un segundo artículo sobre la misma temática ha sido aceptado por la revista *Transportation Science*. Estos resultados se engloban en el marco de Trustonomy, un proyecto financiado por el programa marco europeo H2020, que incluye a diversos actores de la industria del automóvil.

Imagen: FIA



Se espera que la implantación de los vehículos autónomos revolucione el transporte de personas y bienes en los próximos años.

Las líneas de campos electromagnéticos pueden estar anudadas y mantener esa estructura

En diferentes sistemas físicos aparecen estructuras anudadas: en cristales líquidos, en fenómenos ópticos, en fluidos y también en las líneas de campos electromagnéticos. Lo habitual es que los nudos desaparezcan rápidamente y, por el momento, solo se conocían algunas estructuras específicas que pudieran mantenerse a lo largo del tiempo. Ahora, Benjamin Bode, investigador postdoctoral Severo Ochoa del ICMAT, ha conseguido demostrar que las líneas de campos electromagnéticos pueden estar enmarañadas de todas las formas posibles y que estas estructuras permanecen inmutables en el tiempo.

El resultado salió publicado el pasado mes de septiembre en la revista *Communications in Mathematical Physics* y responde a un problema “en el que muchos investigadores habíamos estado trabajando durante años”, señalaba Daniel Peralta, investigador del Instituto y colaborador de Bode.

En los últimos años, se ha popularizado el estudio de nudos en diferentes sistemas físicos. Con este enfoque, los investigadores pueden saber cuánto control se tiene en los diferentes sistemas. “Si podemos atar cualquier nudo, como es el caso de los campos electromagnéticos, entonces tenemos un control relativamente bueno sobre el sistema; si solo podemos atar nudos muy simples, como parece ser el caso de algunos campos que aparecen en la física de partículas, las soluciones son, de alguna manera, muy rígidas, no hay mucha flexibilidad”, exponía Bode.

Para obtener su avance, Bode ha empleado un resultado de hace más de un siglo que permite traducir el problema de ecuaciones diferenciales en otro sobre cierto tipo de funciones complejas. La clave ha sido unir este resultado con ideas de otro campo, llamado topología de contacto. Esta interacción entre diversas áreas de las matemáticas es uno de los grandes atractivos del resultado. “Cuando surge un concepto de un área en otra, completamente diferente, es hermoso”, valoraba Bode.



Imagen: ICMAT

Benjamin Bode, investigador postdoctoral Severo Ochoa del ICMAT, ha conseguido demostrar que las líneas de campos electromagnéticos pueden estar enmarañadas de todas las formas posibles.

VI edición “Ellas investigan”

Faguëye Ndiaye (Universidad Cheikh Anta Diop de Dakar, Senegal) acaba de finalizar su estancia en el ICMAT, dentro de la VI edición del programa ‘Ellas investigan’, de la Fundación Mujeres por África. Ndiaye ha colaborado con el grupo de investigación AGAPI (grupo de análisis y geometría con aplicaciones a problemas inversos), liderado por Daniel Faraco, profesor de la Universidad Autónoma de Madrid (UAM) y miembro ICMAT.

El Instituto colabora con esta iniciativa desde su primera edición. Gracias a este proyecto, científicas sénior provenientes de países africanos se incorporan durante seis meses a los centros de excelencia Severo Ochoa participantes para realizar un proyecto de

investigación. El objetivo principal es dar un papel principal a las científicas de aquel continente en la transformación a una economía basada en el conocimiento y la innovación de sus países.

Imagen: African Women in Mathematics Association



Faguëye Ndiaye (Universidad Cheikh Anta Diop de Dakar, Senegal) ha trabajado en el campo de los problemas inversos durante su estancia en el ICMAT.

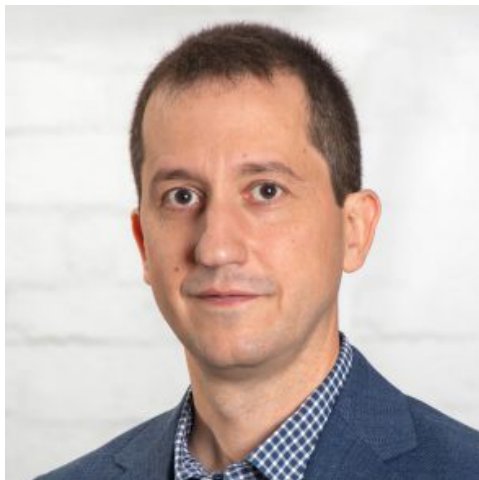
Premios

David Pérez García, Medalla Ramón y Cajal de la Real Academia de Ciencias

La Real Academia De Ciencias Exactas, Físicas y Naturales De España (RAC) ha otorgado la Medalla Ramón y Cajal en su tercera edición a David Pérez García, investigador del ICMAT y catedrático de la Universidad Complutense de Madrid. El galardón se concede desde 2017 a investigadores menores de 50 años por sus méritos científicos y esta es la primera vez que se reconoce a un matemático.

La investigación de Pérez García se centra en las aplicaciones de las matemáticas a la teoría de la información cuántica. Sobre ese tema lidera el Laboratorio Ignacio Cirac en el ICMAT y dirige el grupo de investigación Matemáticas e Información Cuántica en la UCM. Pérez García es autor de más de 90 publicaciones en revistas de impacto, entre ellas, *Nature* y *PNAS*. Es, además, investigador principal de proyectos que suponen un valor total de más de cinco millones de euros, entre ellos, un ERC Consolidator Grant, que obtuvo en 2015.

Imagen: David Pérez García



David Pérez García, investigador del ICMAT y catedrático de la Universidad Complutense de Madrid, trabaja en la teoría de la información cuántica.

Antonio Córdoba recibe la Medalla de la Real Sociedad Matemática Española

La Real Sociedad Matemática Española (RSME) concede anualmente sus Medallas a "personas destacadas por sus relevantes, excepcionales y continuas aportaciones en cualquier ámbito del quehacer matemático". Entre las tres personas premiadas de este año está Antonio Córdoba, exdirector (de 2016 a 2019) y ahora miembro asociado del ICMAT y catedrático emérito de Análisis Matemático en la UAM. Junto a él, han recibido el premio Tomás Recio, profesor de la Universidad de Cantabria, y Olga Gil Medrano, profesora en la Universidad de Valencia.

Córdoba ha desarrollado su investigación en diversas áreas, desde la teoría de números al estudio del análisis armónico y las ecuaciones en derivadas parciales o la física matemática. Su trabajo ha tenido un amplio impacto y reconocimiento internacional, y ha sido publicado en revistas como *Annals of Mathematics*, *Inventiones Mathematicae*, *Communications in Mathematical Physics*, *Proceedings of the National Academy of Sciences* o *Duke Mathematical Journal*. Córdoba cuenta con importantes reconocimientos, entre los que destaca el Premio Nacional Julio Rey Pastor de Matemáticas y Ciencias de la Comunicación, que le fue concedido en 2011.



Córdoba recibió en 2011 el Premio Nacional Julio Rey Pastor de Matemáticas y Ciencias de la Comunicación.

Imagen: ICMAT

Actividades científicas

Charles Fefferman inaugura el ciclo ICMAT Distinguished Lectures

El pasado 15 de octubre de 2021 dieron comienzo las ICMAT Distinguished Lectures, una nueva serie de conferencias protagonizada por grandes figuras de la matemática internacional. La primera fue impartida por Charles Fefferman, catedrático de la Universidad de Princeton, Medalla Fields y director de uno de los Laboratorios ICMAT.

La investigación de Fefferman ha tratado diversos ámbitos: análisis matemático, ecuaciones en derivadas parciales, análisis de Fourier, física matemática, dinámica de fluidos, redes neuronales, geometría diferencial... Prueba de esta variedad de intereses son los dos temas que presentó en el Instituto: interpolación de datos con funciones suaves y problemas matemáticos sobre el grafeno.

Las ICMAT Distinguished Lectures son un nuevo ciclo de conferencias en el que matemáticos y matemáticas de gran impacto compartirán temas de interés para toda la comunidad. Se realizarán dos eventos al año, y la siguiente será impartida por Claire Voisin, investigadora CNRS en el Institut de Mathématiques de Jussieu-Paris Rive Gauche, el 1 de abril de 2022.

Imagen: ICMAT



Charles Fefferman, en su conferencia organizada por el ICMAT.

Nace el coloquio conjunto entre el ICMAT y las universidades Autónoma, Complutense y Carlos III de Madrid

Concha Bielza, catedrática en la Universidad Politécnica de Madrid y especialista en aprendizaje automático y redes bayesianas, fue la primera ponente del Coloquio de Matemáticas Conjunto ICMAT-UAM-UC3M-UCM. El evento, titulado "Bayesian Networks and Temporal Data", tuvo lugar el 1 de octubre en el ICMAT y también se emitió en *streaming*.

Con esta cita comenzó una nueva modalidad de coloquio en colaboración entre el ICMAT y las tres universidades de las que forma parte (Autónoma, Complutense y Carlos III de Madrid); desaparecen, así, los anteriores Colloquium UAM-ICMAT y Colloquium ICMAT-UCM. Los coloquios serán una actividad itinerante que se celebrará en las cuatro instituciones.

El segundo coloquio tuvo lugar el 30 de noviembre y fue impartido por Eva Miranda, catedrática de la Universitat Politècnica de Catalunya. En su conferencia, "From Euler equations to Turing machines via contact geometry", presentó sus recientes avances sobre dinámica de fluidos, empleando máquinas de Turing. El encuentro tuvo lugar en la Facultad de Ciencias Matemáticas de la UCM.

Imagen: UPM



Bielza ha participado en trabajos de medicina, neurociencia, biología, agricultura, gestión de embalses o, incluso, predicción del precio del mercado eléctrico.

Arranca el Laboratorio ICMAT Hitchin-Ngô

El Laboratorio Nigel Hitchin – Ngô Bảo Châu, uno de los cuatro nuevos Laboratorios ICMAT financiados por el proyecto de excelencia Severo Ochoa, comenzó su actividad el mes de junio, con el evento Opening of the Hitchin-Ngô ICMAT Laboratory, celebrado de forma online.

El programa contó con Steven Bradlow (Universidad de Illinois en Urbana-Champaign, EE. UU.) como *chair* y con conferencias científicas de los investigadores que dan nombre al Laboratorio, Nigel Hitchin (Universidad de Oxford, Reino Unido) y Ngô Bảo Châu (University of Chicago, EE. UU.), así como de su coordinador, Oscar García-Prada (ICMAT-CSIC).

Actividades de divulgación

El ICMAT, en la Semana de la Ciencia y la Noche Europea de los Investigadores

El ICMAT participó en el programa de actividades que organiza el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) con motivo de la Semana de la Ciencia y la Tecnología. En esta ocasión, el instituto organizó dos conferencias, celebradas el 11 de noviembre: "Matemáticas para descifrar los misterios de los fluidos", impartida por Diego Córdoba (ICMAT-CSIC) y dirigida a estudiantes de bachillerato, y "Coche autónomo, ética y matemáticas", a cargo de David Ríos (ICMAT-CSIC) y Roi Naveiro (ICMAT-CSIC), para público general, en colaboración con la RAC. Además, la Comisión de Igualdad Intercentros UAM+CSIC, a la que pertenece el ICMAT, programó el "Escape-Road: A la búsqueda de las científicas Nobel y no Nobel" en la Biblioteca Eugenio Trías de Madrid del 10 al 14 de noviembre.

También, junto a otros centros de la Comisión de Igualdad Intercentros UAM+CSIC, el ICMAT participó en la Noche Europea de los Investigadores 2021 el pasado 24 de septiembre. En esta ocasión, los centros organizaron una feria científica, "El tren de la ciencia para en Atocha: La noche del CSIC", en el jardín tropical de la estación Madrid Puerta de Atocha. David Martín de Diego y Alexandre Anahory, investigadores del Instituto, desarrollaron el taller "Aprende matemáticas jugando con el ICMAT", en el que propusieron varios juegos cuya estrategia puede analizarse a través de conceptos matemáticos de la teoría de grafos y la topología.

Imagen: ICMAT



David Martín de Diego y Alexandre Anahory, investigadores del ICMAT, participaron en la Noche de los Investigadores 2021.

Antonio Córdoba y Amie Wilkinson, en Matemáticas en la Residencia

El pasado 28 de septiembre se celebró la segunda cita de 2021 del ciclo de conferencias divulgativas 'Matemáticas en la Residencia', titulada "Por el giro de una aguja". El ponente fue Antonio Córdoba (UAM-ICMAT). En esta ocasión, Córdoba presentó el problema de Kakeya, una cuestión central del análisis matemático moderno propuesta a comienzos del siglo XX que ha interesado a medallistas Fields como Jean Bourgain y Terence Tao y sobre la que propio Córdoba ha realizado importantes contribuciones.

En mayo tuvo lugar el primer encuentro de 2021, de la mano de Amie Wilkinson, catedrática de la Universidad de Chicago y experta en sistemas dinámicos. La investigadora centró su charla en la recurrencia, un concepto central de la dinámica, que es la traducción matemática del *déjà vu*. "La recurrencia es un concepto simple pero poderoso, que puede ser empleado para responder una sorprendente variedad de preguntas, desde cómo se mezclan dos gases en una caja a profundas propiedades de los números primos o al descubrimiento de exoplanetas en los sistemas solares cercanos", afirmaba la matemática, Premio Satter en Matemáticas en 2011 y Premio Levi L. Conant en 2020.

Marta Macho-Stadler publica un libro sobre matemáticas y literatura

Las matemáticas se cuelan en diferentes textos literarios, desde libros de Sherlock Holmes a Julio Verne, pasando por las obras del movimiento literario francés conocido como OuLiPo (Ouvroir de Littérature Potentielle). Marta Macho-Stadler, profesora de la Universidad del País Vasco (UPV/EHU) y divulgadora de las matemáticas, se encarga de rastrear estos lugares de unión entre las matemáticas y la literatura en su libro *Matemáticas y literatura*. La obra ha sido recientemente publicada dentro de la colección 'Miradas Matemáticas', coeditada por el ICMAT, la Federación Española de Sociedades de Profesores de Matemáticas (FESPM) y la editorial Los Libros de la Catarata.



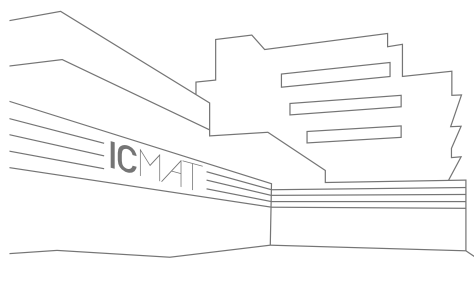
AGENDA

Actividades científicas en el ICMAT

- [Workshop on Banach spaces and Banach lattices II](#)
Fecha: 9-13 de mayo de 2022
- [Graduate school on Geometric Group Theory and Low Dimensional Topology](#)
Fecha: 16-27 de mayo de 2022
- [Geometric Aspects of the Swampland 2022](#)
Fecha: 23-26 de mayo y 8-10 de junio de 2022
- **11th International Conference on Harmonic Analysis and Partial Differential Equations**
Fecha: 6-10 de junio de 2022
- [Poisson 2022 Conference](#)
Fecha: 25-29 de julio de 2022
- [Moduli spaces and geometric structures. Conference in honour of Oscar García-Prada on the occasion of his 60th birthday](#)
Fecha: 12-16 de septiembre de 2022
- [Intercity Seminar on Arakelov Geometry 2022](#)
Fecha: 12-16 de septiembre de 2022

ICMAT

INSTITUTO DE CIENCIAS MATEMÁTICAS



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

www.icmat.es

