

EDITORIAL

Matemáticas para un desarrollo justo y sostenible

Imagen: José María Martell



José María Martell

2022 ha sido proclamado por la UNESCO como el [Año Internacional de las Ciencias Básicas para el Desarrollo Sostenible](#). Esta celebración nos brinda una gran oportunidad para incidir en la importancia de las disciplinas básicas y, en concreto, de las matemáticas para alcanzar los [Objetivos de Desarrollo Sostenible](#) (ODS).

La ciencia básica es aquella que tiene como objetivo la generación de conocimiento teórico acerca del mundo que nos rodea, sin necesidad de considerar las aplicaciones concretas e inmediatas. Conocer la naturaleza de los agujeros negros, descifrar los mecanismos que dieron lugar al desarrollo de la vida en la Tierra o entender la interacción atómica de los elementos químicos son avances que suponen un enriquecimiento de nuestra sociedad.

Las matemáticas son el paradigma de la ciencia básica: tratan principalmente sobre objetos abstractos y sus relaciones y, en general, sus desarrollos pueden hacerse en un plano teórico, que no tiene por qué reflejar o tener en cuenta la realidad que nos rodea. Por ejemplo, en el siglo XIX, el matemático y físico francés Joseph Fourier, que estaba estudiando la difusión del calor, introdujo el concepto teórico de serie trigonométrica para descomponer una función en bloques fundamentales, usando senos y cosenos. Esto propició la aparición de un área muy activa de las matemáticas, llamada el análisis de Fourier o armónico, donde se estudian estas descomposiciones trigonométricas — series de Fourier— como objetos abstractos.

Muchas de las investigaciones básicas están motivadas por cuestiones aplicadas. Pero la ciencia básica afronta los problemas de forma teórica, desarrollando nuevas herramientas o nuevos lenguajes que enriquecen el problema inicial. Y, en la

otra dirección, los progresos básicos son el sustrato del que se nutrirán el resto de ciencias aplicadas y las tecnologías. Es decir, disponer de un conjunto nutrido de conocimientos y herramientas básicas nos permite enfrentarnos no solo a los problemas de hoy, sino a los que aparecerán en el futuro.

Las matemáticas son el idioma en el que se escribe la ciencia y, por lo tanto, tienen un papel destacado en todas las áreas científicas. En este sentido, en los últimos años, ha sido evidente la importancia de la estadística, la simulación, la modelización y el tratamiento de datos para resolver todo tipo de problemas, desde la respuesta frente a la pandemia de la COVID-19, a cualquier cuestión relacionada con ordenadores e internet.

(Continúa en la página siguiente)

CONTENIDOS

Editorial: José María Martell (CSIC).....	01
Reportaje: “Geometría para analizar el impacto de la gravedad cuántica en la física de partículas” ..	03
Entrevista: Eva Gallardo (ICMAT-UCM-RSME)	06
Cuéntame tu tesis: Alexandre Anahory Simoes (ICMAT-CSIC).....	09
She Does Maths: Sara Abdelsalam (Universidad Británica de Egipto).....	10
Perfil: Enrique García Sánchez (ICMAT-CSIC).....	12
Reseña: Conos entrelazados.....	13
Reseña: Clasificar las fases cuánticas de la materia ..	14
Noticias ICMAT	15
Agenda	20

La descomposición de Fourier, de la que hablábamos antes, y los desarrollos teóricos a los que ha dado lugar, han resultado cruciales para la transmisión de señales y para cuestiones cotidianas, como el almacenamiento y envío de las fotografías que hacemos con nuestros teléfonos.

De igual modo, el papel de las matemáticas es clave en la consecución de los ODS. Por ejemplo, gracias a la teoría de grafos, la investigación operativa o el *big data* somos capaces de diseñar estrategias efectivas para la obtención, uso y repartición de recursos (alimentos, energía, agua, vacunas, medicamentos, etc.); las ecuaciones diferenciales, la topología y la computación nos ayudan a comprender una enorme variedad de fenómenos complejos, como la propagación de enfermedades, la contaminación de los océanos o el cambio climático; y la geometría nos proporciona instrumentos muy precisos de geolocalización, como el GPS.

Por otra parte, la educación matemática es un pilar de la formación integral de la ciudadanía, pues contribuye al desarrollo del razonamiento. La resolución de problemas matemáticos es un entrenamiento de nuestra capacidad lógica, de abstracción y de formalización. El refuerzo de la educación en matemáticas es, en sí mismo, uno de los ODS: las matemáticas deben estar al alcance de todas las personas, independientemente de su género, raza, país de origen o capacidad adquisitiva.

No hay duda de que las matemáticas tienen también una importante traducción directa al desarrollo económico de un país. Según un [informe](#) de la [Red Estratégica de Matemáticas](#) (REM) y Analistas Financieros Internacionales (Afi) en el año 2019, en España las matemáticas suponían más del 10% del PIB y generaban el 6% del empleo total. Sin embargo, en otros países como Reino Unido, Francia y Países Bajos, las cifras oscilan entre el 13% y el 16% del PIB, y entre el 10% y el 11% en el empleo.

Para incrementar las cifras españolas, uno de los objetivos principales de los próximos años debería ser la convergencia con los países a la cabeza de Europa en financiación y apoyo a la ciencia. Actualmente, la inversión en I+D en España continúa siendo menor que el de la media europea (1,27% del PIB español frente al 1,43% europeo, según Eurostat).

Otro de los desafíos del sistema científico español es el acercamiento entre los sectores público y privado. Por ejemplo, según

el reciente informe [Investigación e innovación en España y Portugal](#) de la Fundación 'la Caixa', pese a que España se encuentra en la media europea de la producción de nuevos doctores, estamos por detrás en la incorporación de personal investigador en el ámbito privado (un 38% del total de investigadores trabajan en el sector privado, frente al 55% de media en la UE). Esta falta de equilibrio entre la oferta y la demanda de jóvenes investigadores puede acentuar la tan comentada fuga de cerebros, lo que supone un gran peligro para el desarrollo sostenible del país.

El [Pacto por la Ciencia y la Innovación](#) y la aprobación de la [Ley de Ciencia, Tecnología e Innovación](#) son una oportunidad única para ofrecer soluciones a estas cuestiones. Es crucial que España apueste por la ciencia contando con una inversión valiente y estable en I+D+i. Hemos de solucionar el problema de la precariedad y la falta de estabilidad, ofreciendo oportunidades profesionales, tanto en el sector público como en el privado, a nuestros jóvenes doctores, garantizando una renovación efectiva del sustrato investigador.

El desarrollo de la ciencia básica y, en particular, de las matemáticas, debe estar dentro de las prioridades de nuestros gobiernos. Es de gran importancia apostar por una estrategia a largo plazo y no dejarnos cegar por la tendencia cortoplacista que parece que, hoy en día, predomina en nuestra sociedad. Necesitamos unas matemáticas, y una ciencia básica, que nos doten de herramientas para enfrentarnos a los retos del presente —algunos de ellos, representados en los ODS— y del futuro, y que estén presentes en la educación y cultura de la ciudadanía, la economía y el bienestar. Afrontar estos desafíos dentro del ámbito de la cooperación internacional es una de las claves para conseguir un grado de desarrollo justo, sostenible y estable en el tiempo.

Artículo publicado originalmente el 23 mayo de 2022 en el portal [Somos Iberoamérica](#)

José María Martell, director del ICMAT hasta julio de 2022, ocupa desde entonces la Vicepresidencia de Investigación Científica y Técnica del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).

REPORTAJE: Geometría para analizar el impacto de la gravedad cuántica en la física de partículas

Los meses de mayo y junio de 2022 el congreso “Geometric Aspects of the Swampland” reunió a 100 matemáticos y físicos en Madrid. Este encuentro, organizado de forma conjunta por el Instituto de Ciencias Matemáticas y el Instituto de Física Teórica, se centró en cuestiones geométricas del llamado programa *Swampland*, una serie de conjeturas sobre las características matemáticas que ha de cumplir una teoría de partículas para ser compatible con la gravedad cuántica. Este campo de investigación podría usarse para explicar los primeros instantes del universo, por qué el bosón de Higgs fue descubierto en el LHC o la expansión acelerada del universo.

Ágata Timón G Longoria

Hoy en día hay dos paradigmas sobre los que se sostiene la física fundamental: la relatividad general y la teoría cuántica de campos. Desde hace décadas, los físicos buscan un marco teórico que unifique ambos y permita explicar de forma completa el universo: desde las interacciones subatómicas a la evolución macroscópica del cosmos. Esta teoría, que debe explicar la fuerza de la gravedad a distancias muy pequeñas, es la llamada teoría de la gravedad cuántica.

Su desarrollo, uno de los principales retos de la investigación actual, está directamente relacionado con física a energías muy altas, mucho mayores que la energía de los experimentos que se produce en los aceleradores de partículas actuales. Afortunadamente, es posible estudiar la gravedad cuántica y sus efectos mediante otras herramientas, como la geometría algebraica. Esto es una de las consecuencias del llamado programa Swampland. A este campo de investigación, entre la física teórica y la geometría, se dedicó el congreso “[Geometric Aspects of the Swampland](#)” (GAS), organizado por el Instituto de Ciencias Matemáticas (ICMAT) y el Instituto de Física Teórica (IFT) durante los meses de mayo y junio de 2022.

“El programa Swampland trata de descifrar el efecto de la gravedad cuántica sobre las llamadas *teorías de campos efectivas*, o teorías de partículas, que utilizamos para describir nuestro universo a energías accesibles con los aceleradores de partículas y también para averiguar qué ocurre a energías superiores”,

explica Irene Valenzuela, miembro del IFT y del CERN, investigadora Ramón y Cajal en la Universidad Autónoma de Madrid y coorganizadora de GAS. “La idea central del programa es que muchas teorías de partículas, aunque parecen consistentes, no son compatibles con una teoría de la gravedad cuántica. Por lo tanto, nunca van a describir nuestro universo y podríamos descartarlas”, añade.

Las conjeturas de Swampland [pueden tener importantes consecuencias para física de partículas y cosmología](#). “Más allá del interés teórico del programa, podrían usarse para explicar, por ejemplo, los primeros instantes del universo, por qué se pudo detectar el bosón de Higgs con el LHC o por qué la expansión acelerada del universo es tan pequeña”, afirma Valenzuela.

En busca de teorías compatibles con la gravedad cuántica

Las conjeturas de Swampland permiten diferenciar entre las teorías de partículas compatibles con la gravedad cuántica y las que no lo son. Con este objetivo, proponen propiedades concretas que debería cumplir una teoría de partículas para que se pueda garantizar que es concordante con la gravedad cuántica. “En los últimos años se han propuesto varias conjeturas y refinamientos de las mismas, pero en la actualidad hay tres conjeturas principales a partir de las cuales se organiza el resto”, detalla Fernando Marchesano, miembro del IFT, científico titular del CSIC y también organizador del evento.



Asistentes a la primera parte del congreso Geometric Aspects of the Swampland.



Irene Valenzuela (IFT-UAM), organizadora y ponente del congreso, es una de las líderes mundiales del programa Swampland.

En primer lugar, la [conjetura de las simetrías globales](#), que postula que ciertas simetrías a nivel cuántico no son compatibles con la gravedad. La segunda es la [conjetura de la gravedad débil](#), que afirma que la gravedad es siempre la fuerza más débil. Por último, la [conjetura de la distancia](#), que propone que las teorías de partículas compatibles con la gravedad cuántica poseen un espacio asociado –llamado *espacio de campos*– donde las distancias entre puntos son siempre menores que una cantidad finita –matemáticamente, es una variedad con geodésicas de longitud finita–. “Según esta última conjetura, a lo largo de distancias infinitas la teoría de campos debe dejar de ser válida de una manera bastante precisa”, afirma Marchesano.

Aunque se denominen de esta manera, estas conjeturas tienen un carácter muy diferente al de las conjeturas matemáticas al uso. “Las conjeturas de Swampland son postulados físicos sobre propiedades cualitativas de una teoría de gravedad cuántica consistente, que desconocemos a día de hoy”, explica Mario García Fernández, miembro del ICMAT, investigador Ramón y Cajal de la Universidad Autónoma de Madrid y coorganizador de GAS. “Como postulados físicos, no se pueden demostrar, solo se podrían falsar si construyéramos una teoría de gravedad cuántica consistente que cumpliera estos postulados y realizásemos experimentos para contrastar dicha teoría con la realidad.”

De momento, en los últimos años se han acumulado muchas evidencias y se han obtenido demostraciones de todas ellas, llegándose a comprobar en gran número de teorías efectivas que proceden de soluciones a la teoría de cuerdas. En consecuencia, a día de hoy la mayor parte de la comunidad teórica está convencida de que la primera, de simetrías globales, es cierta, y las otras dos conjeturas van por el mismo camino. Pero, además, “se han descubierto relaciones entre estas y otras conjeturas, lo que hace pensar que hay un principio fundamental detrás de todas ellas. Uno de los objetivos más importante del programa es descubrir cuál es tal principio y entender sus consecuencias para la física actual”, explica Marchesano.

La formulación matemática de la teoría de cuerdas, instrumento para avanzar en el Swampland

En este último propósito, la teoría de cuerdas parece tener un papel clave. “Las conjeturas de Swampland se refieren a un marco teórico, la gravedad cuántica, cuya formulación no conocemos en total generalidad, y, por lo tanto, no resulta posible probarlas con rigor matemático”, advierte Marchesano. “Sin embargo, sí se pueden probar rigurosamente cuando nos restringimos a formulaciones concretas de gravedad cuántica, como la teoría de cuerdas”, prosigue. Efectivamente, en los últimos años, la teoría de cuerdas ha permitido acumular evidencias de las conjeturas de Swampland. “Es el modelo de gravedad cuántica que mejor entendemos y donde se pueden analizar estas conjeturas de manera cuantitativa”, asegura.

Una parte importante de esta teoría se describe mediante un tipo de espacio algebraico, denominado espacio Calabi-Yau. Desde el punto de vista de la física, este representa dimensiones adicionales a las cuatro –dadas por el espacio tridimensional y el tiempo–, que son necesarias para tener una teoría consistente. “Los espacios Calabi-Yau tienen una gran riqueza geométrica y han permitido alcanzar importantes avances en matemáticas en los últimos 30 años”, explica García Fernández. “En lo que se refiere al Swampland, las conjeturas de la gravedad débil y de la distancia se pueden formular en términos de un espacio geométrico que describe toda una familia de espacios Calabi-Yau de manera simultánea. Esto enlaza de manera sorprendente con otras teorías geométricas modernas”, añade.

Es precisamente la interacción de la teoría de cuerdas con las matemáticas lo que ha llevado a los físicos a llamar a estos postulados ‘conjeturas’. “En cierta forma, se parecen en su naturaleza a los postulados de Euclides, que trataban de construir la geometría a base de postulados a priori, cuando se carecía del marco teórico necesario para construir los modelos de geometría tal y como los conocemos a día de hoy”, reflexiona. “Podría ocurrir que dentro de muchos años se construya una teoría de gravedad cuántica que viole alguno de los postulados de Swampland, que, al fin y al cabo, están basados en la teoría de cuerdas y argumentos sobre el comportamiento de agujeros negros, de los cuales conocemos bien poco”, recalca el matemático.

Esta línea de investigación está suponiendo un nuevo enfoque para la teoría de cuerdas, ante la que hace algunos años surgieron voces críticas, incluso cuestionando si era una teoría predictiva y falseable. Esto se debía, en parte, a que se conjeturó que la teoría de cuerdas describe una infinidad de universos posibles, cada uno con unas leyes físicas distintas. Sin embargo, como consecuencia del programa Swampland, ha surgido una corriente que niega lo anterior, [afirmando que el número de universos posibles asociados a la teoría de cuerdas es finito](#) y mucho menor que las estimaciones ingenuas que había hasta ahora, y que sus leyes físicas tienen que obedecer las reglas que dictan las conjeturas Swampland. “Hay un gran debate abierto sobre las soluciones de la teoría de cuerdas que pueden describir nuestro universo a nivel cosmológico y una buena parte de la comunidad científica piensa ahora que la teoría de cuerdas es una teoría con la predictividad necesaria para llegar a nuevos y sorprendentes descubrimientos en los próximos años”, afirma Valenzuela.

Terreno para nuevos avances físico-matemáticos en gravedad cuántica y geometría

En cualquier caso, el programa Swampland aspira a obtener predicciones, independientemente de los avances de la teoría de

cuerdas, descartando una gran cantidad de teorías de campos que no son compatibles con la gravedad cuántica. Lo esencial es, según Valenzuela, “formular los aspectos físicos clave de la gravedad cuántica en términos de propiedades matemáticas que se puedan demostrar rigurosamente, lo que permitirá llegar a predicciones precisas”.

Como indican los organizadores, ese fue el principal objetivo del congreso Geometric Aspects of the Swampland. El encuentro se dividió en dos partes: la primera tuvo lugar del 23 al 26 de mayo y, la segunda, del 8 al 10 de junio. Ambas se celebraron en las instalaciones compartidas por el ICMAT y el IFT.

El evento fue una clara muestra de la fructífera interacción entre físicos teóricos y matemáticos. “Al formular matemáticamente aspectos de las teorías físicas, estos adquieren un mayor valor y un alcance más profundo en sus aplicaciones a la comprensión de la naturaleza. En el caso del problema de la gravedad cuántica, las técnicas que se están utilizando a día de hoy necesitan, en gran medida, del cuerpo teórico de la geometría algebraica más reciente”, afirma García Fernández.

Además, el desarrollo y la comprensión de este problema físico suponen un reto para las matemáticas, ya que sugiere conjeturas, problemas abiertos o incluso nuevas líneas de investigación. “La comprensión futura de este problema fundamental va a requerir, sin lugar a dudas, de una fuerte interacción entre estas dos áreas”, concluye García Fernández.

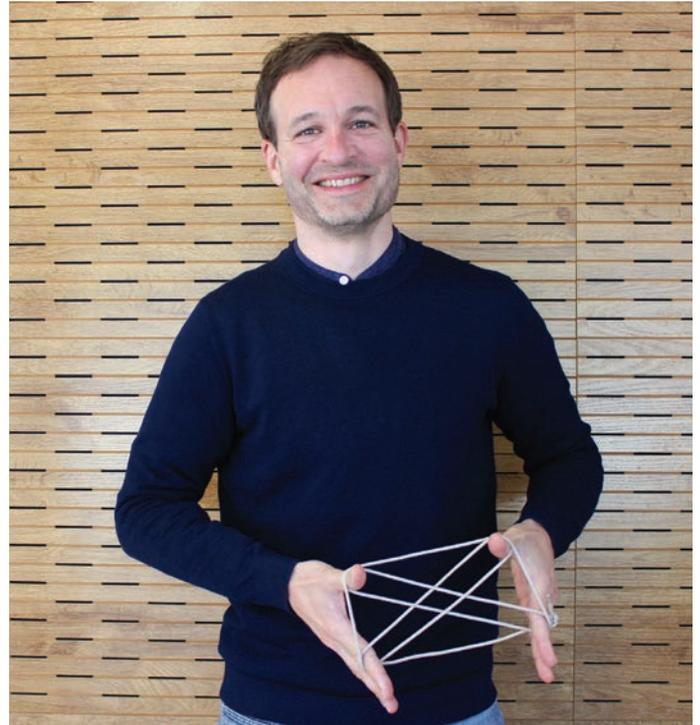


Imagen: ICMAT

Timo Weigand (Universidad de Hamburgo), especialista en teoría de cuerdas y el programa Swampland, fue otro de los ponentes destacados del encuentro.

Ponentes del congreso Geometric Aspects of the Swampland

Georg Oberdieck, investigador en geometría algebraica en la Universidad de Bohn (Alemania), fue uno de los ponentes destacados del encuentro. En 2020 recibió el [premio Heinz Maier-Leibnitz](#) por sus aportaciones a diversos problemas de geometría enumerativa que aparecen en la física matemática. Su resultado, junto a Aaron Pixton, “Gromov-Witten theory of elliptic fibrations: Jacobi forms and holomorphic anomaly equations”, ha sido de gran influencia en el campo.

En el equipo organizador y también como ponente del congreso estuvo **Irene Valenzuela**. Su investigación se centra en gravedad cuántica (en concreto, en la teoría de cuerdas) y sus implicaciones en la física de partículas y la cosmología. Es una de las líderes mundiales del programa Swampland: en 2021 obtuvo una prestigiosa ayuda ERC *Starting Grant* del European Research Council, para desarrollar su investigación en este campo. También en 2021 obtuvo el premio Investigadora Joven en Física Teórica (RSEF-BBVA).

Otro de los ponentes de GAS fue **Timo Weigand**, profesor en el Instituto de Física Teórica de la Universidad de Hamburgo. Weigand es investigador en física teórica, pero su trabajo tiene fuertes nexos con la geometría algebraica y la geometría diferencial. En particular, Weigand estudia la teoría de cuerdas y el programa de Swampland, en relación con la teoría de invariantes enumerativos en geometría algebraica. Doctor por la Universidad de Cambridge en 2003, Weigand también ha sido investigador postdoctoral en las Universidades de Pensilvania y Stanford y miembro staff junior del CERN.

“Las matemáticas me han permitido conocer a gente con una visión de la vida muy diferente a la mía”

En febrero de 2022 Eva A. Gallardo, catedrática de la UCM y miembro del ICMAT, se convirtió en la presidenta de la Real Sociedad Matemática Española (RSME). Hasta ese momento fue vicedirectora del ICMAT (desde 2020), vicedecana de Investigación de la Facultad de Matemáticas de la UCM (desde 2018) y vicepresidenta primera de la RSME, desde 2019. Experta en análisis complejo y la teoría de operadores, campos en los que ha publicado más de 50 artículos, actualmente se encuentra realizando una estancia de investigación en la Universidad de Berkeley (EE. UU.). Con nueve horas de diferencia, realizamos esta entrevista.

ICMAT

¿Cómo está siendo la experiencia en Berkeley?

De momento, muy buena. Es una gran universidad, con un departamento de Matemáticas muy potente, que cuenta con investigadores de primer nivel en todas las áreas de la matemáticas. Además, el número de estudiantes doctorales y postdoctorales es elevado, lo que hace que haya una buena cantera.

¿Su estancia se enmarca en algún proyecto de investigación en concreto?

Sí, la estancia se enmarca en la línea de investigación en teoría de operadores en la que he estado trabajando en los últimos años, y en la discusión de técnicas relacionadas con Dan-Virgil Voiculescu, *professor* de la Universidad de Berkeley y experto internacional en álgebra de operadores y probabilidad libre.

En concreto, ¿qué cuestiones está considerando?

De forma general, estoy interesada en las propiedades de los operadores lineales y continuos cuando actúan en espacios de Hilbert de funciones analíticas y, en particular, su interrelación con estas. En lo que se refiere a los operadores, trato de determinar la estructura de los mismos a través de sus subespacios invariantes. A día de hoy no sabemos si todo operador lineal y continuo en un espacio de Hilbert complejo, separable e infinito dimensional tiene subespacios cerrados e invariantes no triviales. Este problema, conocido como el problema del subespacio invariante en espacios de Hilbert, tiene sus orígenes en los trabajos de John von Neuman de los años 1940. Nosotros consideramos distintas aproximaciones que permiten entender la complejidad del problema, por ejemplo, estudiamos operadores universales en el sentido de Rota o analizamos clases relevantes de operadores, para los cuales, hoy en día, no se conoce la existencia de subespacios invariantes.

¿Han obtenido resultados en esa dirección?

Recientemente, en el artículo “Invariant subspaces for Bishop operators and beyond”, publicado en *Advances in Mathematics* (2020) en colaboración con Fernando Chamizo (ICMAT-Universidad Autónoma de Madrid), Miguel Monsalve (ICMAT-Universidad Complutense de Madrid) y Adrián Ubis (Universidad Autónoma de Madrid), estudiamos la existencia de subespacios invariantes para la clase de operadores de Bishop. Estos operadores fueron propuestos por Erret Bishop en 1950 como posibles contraejemplos al problema del subespacio invariante pero, a día de hoy, no se sabe si todo operador de Bishop tiene un subespacio cerrado e invariante no trivial. Nosotros determinamos una subclase de los mismos que tienen, de hecho, infinitos subespacios cerrados e invariantes no triviales.

Por otro lado, en “Finite rank perturbations of normal operators: spectral subspaces and Borel series”, publicado en el *Journal de Mathématiques Pures et Appliquées* (2022), junto con mi estudiante de doctorado Javier González Doña (ICMAT-CSIC), consideramos la clase de perturbaciones compactas de operadores normales. Sorprendentemente, sigue siendo una cuestión abierta saber si todo operador de esta clase tiene un subespacio cerrado e invariante, o no.

Estos problemas tienen relación con otras áreas, más allá de la teoría de operadores y el análisis complejo.

Efectivamente, en muchas ocasiones, para la resolución, incluso de casos concretos, son necesarias técnicas de otras áreas del análisis matemático, como son la teoría geométrica de funciones, el análisis armónico, el análisis combinatorio e incluso la teoría analítica de números. La interrelación de diferentes líneas de investigación proporciona resultados que, a mi parecer, son siempre sorprendentes.



Eva Gallardo es presidenta de la Real Sociedad Matemática Española desde febrero de 2022.

¿Cuándo decidió dedicarse a la investigación matemática?

Cuando terminé mi licenciatura en Matemáticas quería seguir estudiando y aprendiendo sobre ciertos temas, así que inicié un doctorado y después continué con los estudios de postgrado, de forma natural. Creo que una cosa te lleva a la otra, una no dice "quiero ser investigador de mayor", en mi caso, al menos, no fue así.

¿Cómo se interesó por la investigación?

Descubrir que hay cuestiones en matemáticas aún por resolver y, más aún, preguntas y conjeturas que llevan más de un siglo abiertas, fue algo muy sorprendente durante mi etapa universitaria. Plantearse "casos particulares" que permitan avanzar en entender estas preguntas es un desafío e incluso, en cierto sentido, una contienda en la que, desafortunadamente, en muchas ocasiones se pierde; pero, cuando se gana, consigues entender un poco mejor esas cuestiones.

¿Qué le cautivó de la disciplina?

Las matemáticas tienen una belleza incomparable a cualquier otra cosa que haya visto nunca. Cuando las cosas cuadran, cuando concluyo una demostración, me pregunto: "¿Cómo es posible que funcione?". También, cuando publicas un trabajo o recibes el reconocimiento de tus compañeros, es una grata recompensa. Además, las matemáticas me han permitido conocer a gen-

te con una visión de la vida muy diferente a la mía y eso te completa como persona.

Por otro lado, cuando las cosas no salen, es frustrante. Hay momentos en los que te desanimas, hay muchas horas de entrenamiento, de sacrificio... A mí me parece que la carrera investigadora se parece mucho al desarrollo de un deportista profesional.

Siguiendo con el símil deportivo: ¿cuáles de sus logros diría que ocupan el podio?

Esta, quizás, es una pregunta que deberían responder los investigadores del área en la que trabajo. Ocurre que aquellos resultados que uno cree son menos relevantes acaban siendo los más citados porque abren nuevas líneas de trabajo, plantean diferentes puntos de vista, o dan pie a nuevas cuestiones. Yo, personalmente, destacaría "The role of the spectrum in the cyclic behavior of composition operators" (con Alfonso Montes-Rodríguez (Universidad de Sevilla)), publicado en *Memoirs of the AMS* en 2004, y que [fue distinguido con un "Featured review"](#) por el *Mathematical Reviews*. También "On the connected component of compact composition operators on the Hardy space" (con María José González (Universidad de Cádiz), Peka Nieminen y Eero Saksman, de la Universidad de Helsinki), publicado en *Advances in Mathematics* en 2008 y "Rota's universal operators and invariant subspaces in Hilbert spaces" (con Carl Cowen (Purdue University-Indiana University)), en *Journal of*

"Aquellos resultados que uno cree son menos relevantes acaban siendo los más citados porque abren nuevas líneas de trabajo"

Functional Analysis en 2016, donde resolvemos preguntas que llevaban abiertas bastante tiempo en el área.

Por otro lado, el artículo “Operators having no non-trivial closed invariant subspaces on ℓ^1 : A step further”, en *Proceedings of the London Mathematical Society* (2019), en colaboración con Charles Read, tiene un valor especial. Fue su último trabajo de investigación: Read falleció poco tiempo después de realizar una visita de investigación a Madrid donde lo completamos. En el trabajo resolvemos conjeturas planteadas por Read en la década de los ochenta y mostramos contraejemplos de naturaleza intrincada en el contexto del problema del subespacio invariante en el espacio de Banach clásico ℓ^1 .

Además de su labor como investigadora, ocupa la presidencia de la Real Sociedad Matemática Española (RSME), ¿cómo es la experiencia?

Yo era vicepresidenta de la RSME, pero nunca pensé que fuese a ser la presidenta; es emocionante y, cómo no, un reto. Es un honor y evidentemente un desafío complejo en muchos sentidos. Tengo conmigo un equipo de dirección muy comprometido con los que estamos intentando visibilizar la transversalidad de las matemáticas. Hoy en día tienen una aplicabilidad tecnológica tremenda en todo lo que sea información, bases de datos, etc. Además, tienen una parte social muy importante. Permiten desarrollar un pensamiento crítico, lógico y coherente. En nuestra sociedad pensar de manera lógica es una herramienta para analizar las situaciones y ser menos manipulables. Es una disciplina fundamental para construir un mundo más justo, más solidario y evidentemente más avanzado.

“Cada vez somos más mujeres en ciencias y esto implicará que más mujeres accederán a los puestos de responsabilidad”

¿Cuáles son los principales ejes de actuación de su equipo directivo?

Hay varias líneas concretas de actuación que presentamos en nuestro proyecto, entre ellas, destacaría, en primer lugar, apoyar a jóvenes investigadoras e investigadores. No deja de sorprender la edad media del profesorado de las universidades españolas, así como aquella en la que los jóvenes formalizan su primer contrato laboral con una universidad o instituto de investigación. Como sociedad científica, hemos de hacer una reflexión sobre la carrera científica en nuestro país e instar a las instituciones competentes para que emprendan acciones concretas que permitan aumentar la captación de ta-

lento, y el reconocimiento de la actividad investigadora basada en criterios que, como comunidad matemática, conocemos y respetamos.

Por otro lado, queremos promover una mayor presencia de la RSME en los ámbitos educativos, tanto universitarios como pre-universitarios. La educación es la mejor manera de transformar una sociedad, como bien sabemos. La RSME, como parte de la comunidad matemática de nuestro país, ha de ser participe en la formación de personas libres y críticas, capaces de tomar decisiones con criterios fundados.

También vamos a desarrollar distintas actividades que estimulen el talento matemático y despierten vocaciones entre los más jóvenes, como las Olimpiadas Matemáticas, o acciones dirigidas a la incorporación de talento femenino a las matemáticas son fundamentales.

En definitiva, consolidar a la Real Sociedad Matemática Española como referente para las diferentes administraciones públicas en todos aquellos aspectos que tengan relación con las Matemáticas.

“Queremos consolidar a la RSME como referente para las diferentes administraciones públicas en todos aquellos aspectos que tengan relación con las matemáticas”

Usted es la segunda mujer que ostenta el cargo, ¿cómo se siente al respecto?

La cuestión de ser la segunda mujer es algo coyuntural, creo que seguramente va a haber más presidentas en el futuro, soy optimista en este sentido. Cada vez somos más mujeres en ciencias y esto implicará que más mujeres accederán a los puestos de responsabilidad y de dirección. Hay que ir abriendo el camino para que más personas se animen a tomar el relevo. La diversidad suma y los distintos puntos de vista que tenemos mujeres y hombres –por naturaleza, por nuestros parámetros sociales– son positivos para avanzar en ciencia.

¿Algún consejo que anime a los jóvenes a adentrarse al mundo de las matemáticas?

Si les gusta, adelante. Es una carrera de fondo. Parafraseando a Barack Obama: *Yes, we can*. Cada disciplina tiene sus peculiaridades y su complejidad, pero nadie debería echarse atrás ni autocensurarse. Si les gusta la carrera investigadora y realmente sienten que es lo que quieren hacer: adelante, sin titubear.

Compromiso con la excelencia

Doctora en matemáticas por la Universidad de Sevilla, Eva Gallardo ha sido profesora en la Universidad de Cádiz y en la de Zaragoza antes de incorporarse a la UCM en 2010. Además, ha realizado estancias predoctorales en Michigan State University (East-Lansing), postdoctorales en Purdue University (West-Lafayette) y estancias de investigación en University of Michigan (Ann Arbor), Purdue University, University of Washington e Indiana University (Bloomington), entre otras. A lo largo de su carrera ha formado parte de numerosos comités: tanto de la Agencia Nacional de Evaluación y Prospectiva (ANEP) o la Research Executive Agency (REA) de la Comisión Europea, o de entidades privadas como La Caixa o la Fundación BBVA.

Es miembro del ICMAT desde 2011 y desde enero de 2018 es también miembro del Comité Ejecutivo del programa Severo Ochoa del ICMAT. Entre 2020 y 2022 fue vicedirectora del centro. “Formar parte del ICMAT es un orgullo y un honor. En mi opinión, el Instituto es un centro de investigación en matemáticas de alto nivel y actúa como potenciador de la excelencia en las matemáticas, no solo en la comunidad de Madrid, sino a nivel español e internacional”, asegura.

CUÉNTAME TU TESIS: Alexandre Anahory Simoes

Título de la tesis: “Geometric and numerical analysis of nonholonomic systems”

Autor: Alexandre Anahory Simoes

Supervisores: Juan Carlos Marrero y David Martín de Diego

Fecha publicación: 2021

Enlace: https://www.icmat.es/Thesis/2021/Tesis_Alexandre_Anahory.pdf

A Alexandre Anahory Simoes (1993, Lisboa, Portugal) siempre le ha interesado la relación entre las matemáticas y la física. De hecho, empezó estudiando el grado de Física y, más tarde, comprendió que “lo que me gustaba más de la disciplina no era tanto la parte experimental, sino el estudio matemático de los modelos que aparecen”. Fue entonces, cuando decidió hacer el doctorado en Matemáticas, en el ICMAT. Cinco años después, ha leído su tesis “Geometric and numerical analysis of nonholonomic systems”, dirigida por David Martín de Diego (ICMAT-CSIC) y Juan Carlos Marrero (Universidad de la Laguna), quienes, además de introducirle a esta área, también le “han enseñado lo que significa ser un investigador”, asegura Anahory. Su trabajo se centra en el estudio de los sistemas no holónomos, es decir, aquellos en los que las restricciones a las que está sometido el sistema no son integrables. En concreto, responde a una pregunta propuesta hace más de 20 años: ¿cómo encontrar una versión discreta exacta de un sistema dinámico no holónimo? Nos lo cuenta a continuación.

Alexandre Anahory Simoes

“Geometric and numerical analysis of nonholonomic systems” analiza las propiedades geométricas de los sistemas no holónomos y su simulación numérica. Estos son temas centrales en el campo de la integración geométrica de sistemas mecánicos, es decir, el campo que estudia cómo preservar propiedades geométricas de los sistemas mecánicos en las simulaciones.

Si una simulación no preserva ningún tipo de propiedad, además de ser menos real, es más costosa desde el punto de vista computacional. Por lo que la capacidad de una simulación conserva propiedades geométricas puede mejorar su eficiencia. Esto podría ser útil en el desarrollo de algoritmos para coches autónomos u otro tipo de vehículos con procesadores muy pequeños que requieren simulaciones extremadamente eficientes.

Cuando se simulan sistemas mecánicos, es fundamental hallar el error de los métodos numéricos utilizados. Para ello, normalmente se tiene conocimiento teórico de cómo debería ser la solución exacta y luego, se compara el método numérico con una versión truncada de esta solución. Esta técnica se llama *análisis del error regresivo*. Hasta nuestro trabajo, no existía un marco teórico para que esta técnica pudiera ser aplicada a los sistemas no holónomos.

En la tesis hemos avanzado hacia esa dirección. En concreto, hemos logrado descubrir cuál es la versión exacta discreta para la dinámica no holónoma. En el futuro, se podrá utilizar este conocimiento para calcular el error numérico de los métodos que se utilizan en mecánica no holónoma. Esto podría tener aplicaciones prácticas en el desarrollo de algoritmos eficaces para sistemas de vehículos con ruedas.

Por otro lado, en la tesis demostramos varios resultados geométricos para sistemas no holónomos que eran desconocidos en este contexto hasta el momento y podrían tener implicaciones teóricas importantes.

Uno de los avances más notables de la tesis fue la derivación de la aplicación exponencial para la mecánica no holónoma. Esta aplicación es uno de los conceptos fundamentales en geometría riemanniana. Su introducción en mecánica no holónoma permite establecer varios puentes con la geometría no holónoma. De hecho, en esta tesis empezamos una nueva línea de investigación que pretende estudiar una clase importante de sistemas no holónomos utilizando técnicas de geometría riemanniana, que son ya ampliamente conocidas en la comunidad matemática.

En este capítulo, cabe destacar la derivación de la ecuación de Jacobi para sistemas no holónomos y el correspondiente estudio de los campos de Jacobi. Estos son objetos que pueden ser utilizados para entender cómo se relacionan trayectorias no holónomas que parten del mismo punto y, en futuras investigaciones, pueden ayudar a detectar la presencia de curvatura del espacio inducida por las ligaduras no holónomas.

Además, también hemos obtenido un resultado sorprendente en la comunidad de mecánica geométrica: para determinados sistemas, las trayectorias no holónomas que parten del mismo punto común son geodésicas para una métrica riemanniana modificada. Este resultado es bastante sorprendente porque hasta el momento se pensaba que las trayectorias no holónomas se comportaban de forma muy distinta a las geodésicas que son, en particular, soluciones de un problema variacional, mientras que las soluciones no holónomas se ha demostrado diversas veces y de diversas formas no ser solución de un problema variacional.

SHE DOES MATHS: Sara Abdelsalam (Universidad Británica de Egipto)

Imagen: ICMAT



Sara Abdelsalam ha realizado una estancia de tres meses en el ICMAT gracias al programa 'Ellas investigan' de la Fundación Mujeres por África.

Sara Abdelsalam (Universidad Británica de Egipto), investigadora especializada en el área de matemática aplicada y mecánica de fluidos, estudia el movimiento de la sangre y el efecto de las nanopartículas en el cuerpo humano. Sobre estos temas ha trabajado los últimos tres meses de 2022 (de junio a septiembre) en el ICMAT, junto a Ángel Castro (ICMAT-CSIC), dentro del programa 'Ellas investigan' de la Fundación Mujeres por África. La matemática volverá a visitar el ICMAT otros tres meses el año que viene para concluir su ayuda.

Campos de investigación: Matemática aplicada, mecánica de fluidos, nanofluidos, nanopartículas.

Laura Moreno Iraola

Cuando Sara Abdelsalam, profesora asociada en la Universidad Británica de Egipto (BUE) desde 2019, se encontró con la posibilidad de participar en el programa ['Ellas investigan'](#), de la Fundación Mujeres por África, no dudó un segundo en inscribirse. "Intento aprovechar todas las ayudas que se nos dan a las mujeres, porque hay pocas. Esta oportunidad le va a dar un punto añadido a mi carrera y va a incrementar el valor de mi trabajo", comenta. A través de este programa, investigadoras africanas sénior pueden incorporarse durante seis meses a un centro de excelencia de España, entre los que se encuentra el ICMAT, para desarrollar un proyecto con un grupo de investigación. Aunque fue hace tres años cuando le concedieron la beca en el Instituto a Abdelsalam, hasta junio de 2022 no ha podido disfrutar de su

estancia debido a los problemas burocráticos derivados de la pandemia de la covid-19.

Doctorada en 2013 por la Universidad de Helwan (Egipto), la investigadora trabaja en el área de mecánica de fluidos aplicada a otros campos científicos como la biología y la física. En los últimos años, su investigación ha estado centrada en el estudio del movimiento de la sangre y del efecto de las nanopartículas en el cuerpo humano, a través de las matemáticas. "Uno de los primeros trabajos que salieron en este campo fue sobre el efecto de las *gold nanoparticles* (oro coloidal) en el tratamiento de las zonas con cáncer. Al leerlo, me pregunté cómo estudiar las nanopartículas desde la mecánica de fluidos", explica Abdelsalam,

Y es precisamente a lo que se ha dedicado su proyecto en el ICMAT, en el que ha colaborado junto a Ángel Castro, miembro del Instituto. En estos meses han estado explorando cómo combinar sus investigaciones para estudiar un tipo específico de nanopartículas. "En matemática aplicada, muchas veces se necesitan las herramientas teóricas que en el ámbito aplicado no se tienen. Y, al contrario, quienes trabajamos en el ámbito más teórico no sabemos si lo que estudiamos va a poder tener una aplicación, para ello necesitamos a la gente más aplicada", comenta Castro.

Gracias al programa 'Science by Women', Abdelsalam afirma haber incrementado su conocimiento de estas matemáticas más teóricas, algo que le permitirá poder abordar problemas nuevos e introducirse en nuevas líneas de investigación, también de otros ámbitos científicos. La investigadora ha decidido dividir su estancia en el ICMAT en dos; en septiembre ha concluido la primera parte y, previsiblemente, el próximo año volverá otro trimestre.

Abdesalam también es miembro de la African Academy of Sciences (AAS) desde 2020 y de la Egyptian Young Academy of Sciences (EYAS) desde 2021. Además, es parte de la Organization for Women in Science for the Developing Countries, miembro de la Egyptian Mathematical Society y de la International Society of Muslim Women in Science. En 2020, ganó el State Encouragement Award in Mathematics de Egipto y el Obada Prize en 2021. Asimismo, ha podido disfrutar de otras ayudas como la Fulbright Scholar award, que desarrolló en la Universidad de California Riverside y Caltech (California Institute of Technology) entre los años 2015-2016, o la TWAS (The World Academy of Sciences)-UNESCO, en el Instituto de Matemáticas de México (UNAM), que visitó en 2017 y 2019. Asimismo, recibió una beca del International Centre for Theoretical Physics del Líbano, que

desarrolló en 2021, y fue elegida ese mismo año por el programa 'Leaders in Innovation' de la Real Academia de Ingeniería (Reino Unido) y la Newton-Mosharafa Fund. También participa en varios comités editoriales de revistas científicas internacionales.



Imagen: ICMAT

Sara Abdelsalam ha trabajado en el grupo de Ángel Castro, miembro del ICMAT.

'Ellas investigan', de la Fundación Mujeres por África, en el ICMAT

El ICMAT colabora con esta iniciativa de la Fundación Mujeres por África desde su primera edición, en 2015. Gracias a este proyecto, científicas sénior procedentes de países africanos se incorporan durante estancias de seis meses a los centros participantes, la mayoría con el sello de excelencia Severo Ochoa, para realizar un proyecto de investigación. El objetivo principal es dar un papel principal a las mujeres científicas en África en la transformación a una economía basada en el conocimiento y la innovación de sus países, a través de la ciencia y su transferencia.

Investigadoras que han trabajado en el ICMAT:

1ª Edición (2015): Coumba Niang

2ª Edición (2016): Atinuke Adebajji

3ª edición (2017): Latifa Debbi

5ª edición (2019): Sara Abdelsalam

6ª edición (2021): Faguèye Ndiaye

7ª edición (2022): Narjisse Amahjour

PERFIL: Enrique García Sánchez, estudiante predoctoral en el ICMAT

“Una profesora me animó a participar en un concurso de primavera y me enganché a las matemáticas”



Imagen: Enrique García Sánchez

Enrique García Sánchez se acaba de incorporar al ICMAT como investigador predoctoral.

Enrique García Sánchez (Alcobendas, Madrid, 1998) ha sido beneficiario de una beca de máster JAE INTRO Severo Ochoa en el ICMAT durante el curso 2021-2022. Ha trabajado bajo la supervisión de Pedro Tradacete en el área de análisis funcional, en concreto, en la teoría de espacios y retículos de Banach, una línea de investigación con la que continuará durante su doctorado, que desarrolla también en el ICMAT.

Laura Moreno Iraola

Hasta no hace tanto, Enrique García Sánchez pensaba que sería inventor, para lo que tenía que estudiar una ingeniería. Cuando cursaba 4º de ESO, sin embargo, cambió de opinión. “Asistí a un curso sobre criptografía en los [Campus científicos de verano](#) -de la FECYT-, y me di cuenta de que me encontraba más cómodo en el ámbito teórico”, comenta. Aunque este no fue su primer contacto con las matemáticas fuera del ámbito escolar; ya desde sus primeros años de instituto, García disfrutaba con ellas. “Una profesora de Matemáticas me animó a participar en el [concurso de primavera](#) que organizaba la Universidad Complutense y esto me hizo que me enganchara a esta disciplina”, explica.

Decidió estudiar el Doble Grado en Matemáticas y Física en la Universidad Complutense de Madrid (UCM), en un principio, para ser físico teórico, aunque acabó decantándose por las matemáticas. “Lo que más disfruté fue el rigor de las asignaturas de Matemáticas, una filosofía que encaja muy bien con mi forma de ser”, asegura García. Su implicación en la universidad durante sus años de carrera lo llevó a ser representante de estudiantes, a lo que en la actualidad sigue vinculado como vocal en la Asociación Nacional de Estudiantes de Matemáticas. “Siempre he

intentado movilizarme cuando veo que hay algo que no funciona bien y creo que la representación estudiantil es una vía bastante efectiva de conseguir que ciertas cosas cambien”, explica.

Estudiar el Máster en Matemáticas Avanzadas, también en la UCM, introdujo a García en la investigación en matemáticas y fue lo que lo llevó a disfrutar de una beca de máster JAE INTRO financiada por el proyecto Severo Ochoa del ICMAT. Durante el curso 2021/2022, ha trabajado en el Instituto bajo la supervisión de Pedro Tradacete (ICMAT-CSIC), con quien ha desarrollado su Trabajo Fin de Máster en el área de análisis funcional y, más en concreto, en la teoría de espacios y retículos de Banach. “Incluso se nos han ocurrido algunas ideas que han dado lugar a resultados nuevos, así que estoy muy satisfecho con la beca”, comenta.

Además, esta ayuda le ha servido para convencerse de que quiere desarrollar su carrera profesional en la investigación. De hecho, en septiembre se ha incorporado al ICMAT como estudiante de doctorado. Continuará donde lo dejó en su TFM, también con Tradacete como supervisor. Su idea es realizar el doctorado y marcharse al extranjero después, aunque con la esperanza de volver a España en algún momento.

RESEÑA CIENTÍFICA: Conos entrelazados

Título: "Entangleability of cones"

Autores: Guillaume Aubrun, Ludovico Lami, Carlos Palazuelos y Martin Plávala

Fuente: *Geometric and Functional Analysis*, volume 31, pages 181–205 (2021)

Fecha de publicación: mayo 2021

Enlace: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00039-021-00565-5>

Resumen

Dos de los conceptos más fundamentales –y, también, más sorprendentes– de la teoría de la mecánica cuántica son la superposición y el entrelazamiento. El primero se refiere a la capacidad que tienen las partículas microscópicas de estar en varios estados a la vez; el segundo indica la existencia de ciertas correlaciones entre dos o más partículas microscópicas que no pueden explicarse mediante la física clásica. Desde un punto de vista teórico, el entrelazamiento cuántico se deriva de la superposición y de la forma en la que se componen los sistemas físicos, pero, ¿es esta relación algo específico de la cuántica, o también sucede en otras teorías físicas?

El artículo "Entangleability of cones", publicado en *Geometric and Functional Analysis*, resuelve una conjetura matemática propuesta en 1976 por el matemático George Barker, que trata sobre conos convexos. Estos objetos matemáticos aparecen en el marco de las teorías de probabilidad generalizadas, que permiten considerar teorías físicas más allá de la mecánica cuántica.

El estudio de teorías físicas generales es una de las cuestiones de interés en la investigación actual. Aunque a día de hoy la mecánica cuántica es una teoría generalmente aceptada y que resulta de extraordinaria utilidad, no es descartable que en un futuro próximo deba ser revisada y ciertos aspectos de ella pulidos. Esto puede deberse tanto a la necesidad de aclarar algunas cuestiones de la teoría que permanecen abiertas como a los resultados que pudiesen obtenerse en un experimento futuro y que entrasen en contradicción con alguna predicción hecha por esta teoría.

Matemáticamente, una teoría de probabilidad generalizada se define por medio de tres elementos V , C y u : V es un espacio vectorial real de dimensión finita, C es un cono propio contenido en este espacio vectorial –es decir, un cono convexo cerrado que cumple que $C - C = V$ y $C \cap (-C) = \{0\}$ – y u es un elemento del cono dual C^* , que se denomina unidad. En este contexto una teoría se denomina "clásica" si su cono asociado tiene una propiedad particular –ser simplicial–, ya que esta cualidad se puede interpretar como la ausencia de superposición en dicha teoría. Por otro lado, dadas dos teorías descritas por los conos $C_1 \subset V_1$ y $C_2 \subset V_2$, la presencia de entrelazamiento en la composición de estas teo-

ría puede caracterizarse por una propiedad del producto tensorial minimal de sus conos $C_1 \boxtimes C_2 := \text{Conv} \{x_1 \otimes x_2 : x_1 \in C_1, x_2 \in C_2\}$; en concreto, que este producto esté estrictamente contenido en el producto tensorial maximal $C_1 \boxplus C_2 := (C_1^* \boxtimes C_2^*)^*$.

Por tanto, la relación entre la superposición y el entrelazamiento se puede formular en términos puramente matemáticos: basta con analizar la relación existente entre la propiedad de "ser simplicial" y las propiedades de la composición de conos, por medios de su producto tensorial. Esta cuestión fue planteada por Barker en su estudio de las propiedades de los conos convexos y sus productos tensoriales. En particular, Barker observó que, si alguno de los conos C_1 o C_2 es simplicial, entonces, el producto minimal de estos conos coincide con su producto maximal y conjeturó que el recíproco de esta afirmación era también cierto. La demostración de esta conjetura es el resultado principal de "Entangleability of cones". En concreto, en este trabajo se obtiene la siguiente caracterización:

Teorema: Dados dos conos propios C_1 y C_2 , se tiene que $C_1 \boxtimes C_2 = C_1 \boxplus C_2$ si y solo si alguno de los dos conos es simplicial.

Posteriormente, los autores simplificaron determinadas partes de la demostración original y fue entonces cuando entendieron todas las implicaciones físicas del resultado matemático: aunque la equivalencia entre superposición y entrelazamiento pueda parecer una afirmación puramente teórica, tiene también implicaciones potencialmente prácticas. Una de las aplicaciones más importantes de las tecnologías cuánticas son los protocolos criptográficos en los que se distribuye una clave secreta –es decir, que es solo conocida por un emisor y un receptor– a través de un canal público –accesible para todo el mundo–, cuya seguridad se basa en poder detectar si un adversario ha espiado la transmisión, algo que no es posible en un mundo puramente clásico.

En un [segundo artículo](#), publicado en la revista *Physical Review Letters*, los autores demostraron que este tipo de protocolos no se circunscriben únicamente a la teoría cuántica, sino que pueden desarrollarse en cualquier teoría más allá de la clásica. Por tanto, incluso si en el futuro hubiera que considerar una teoría distinta a la cuántica, esos protocolos criptográficos seguirían siendo posibles.

RESEÑA CIENTÍFICA: Clasificar las fases cuánticas de la materia

Título: “Matrix product states and projected entangled pair states: concepts, symmetries and theorems”

Autores: J. Ignacio Cirac, David Pérez-García, Norbert Schuch, and Frank Verstraete

Fuente: *Rev. Mod. Phys.* 93, 045003

Fecha de publicación: 17 de diciembre de 2021

Enlace: <https://journals.aps.org/rmp/abstract/10.1103/RevModPhys.93.045003>

Resumen

“Matrix product states and projected entangled pair states: concepts, symmetries, and theorems” es un artículo de revisión que resume el estado del arte sobre resultados matemáticos para clasificar fases cuánticas de la materia y entender comportamientos exóticos que aparecen en sistemas cuánticos. Incorpora las principales aportaciones matemáticas realizadas en los últimos años.

Pretende, por tanto, servir como referencia para investigadores que empiecen a estudiar sistemas cuánticos de muchos cuerpos. Esta es un área muy conectada con la teoría de la computación cuántica, ya que los ordenadores cuánticos son, precisamente, sistemas cuánticos de muchos cuerpos. Muchas de las ideas que hay detrás de los resultados que aparecen en el artículo están motivadas por la teoría de la información cuántica.

El origen de las técnicas matemáticas que se analizan en el artículo está en dos aportaciones de principios de la década de 1990 sobre sistemas de una dimensión. En primer lugar, el algoritmo DMRG de Steve White, que es un método numérico que permite aproximar estados fundamentales en una dimensión para sistemas fuertemente correlacionados, para los que otros métodos, de tipo *campo medio*, no funcionan bien. En segundo lugar, la construcción de Mark Fannes, Bruno Nachtergaele y Reinhard Werner de una clase de estados cuánticos –que hoy en día se conocen como *matrix product states* (MPS)– con muy buenas propiedades analíticas. Estas dos propuestas resultaron ser equivalentes: poco después, se mostró que algoritmo DMRG se podía interpretar como una búsqueda variacional en la clase de estados MPS.

En 2004, Ignacio Cirac, junto a otros investigadores, se percató de que se podía entender la clase de estados MPS y, por tanto,

también el algoritmo DMRG, desde el punto de vista de la teoría de información cuántica. Efectivamente, se podían ver los MPS como pares de estados entrelazados, a los que se les aplica una operación local. Con esa perspectiva, Cirac, junto a otros investigadores, generalizó y mejoró este método numérico y lo extrapó a otros casos en dos o más dimensiones; estos estados se llaman *projected entangled pair states* (PEPS).

Los PEPS, a nivel matemático, vienen definidos por unos tensores –es decir, una generalización de las matrices a listas de números complejos con una cantidad arbitraria de índices–. La contracción de estos tensores en el grafo –normalmente un retículo– que codifica las interacciones entre las partículas del sistema es lo que define los PEPS como una familia de estados cuánticos.

A partir de entonces, se han realizado muchos trabajos numéricos en los que se ha comprobado que, efectivamente, esta metodología también funciona con sistemas de dos dimensiones. Esta clase de PEPS, además, es interesante para entender de forma analítica todo el espectro de propiedades exóticas que aparecen en sistemas de dos dimensiones.

J. Ignacio Cirac, David Pérez-García, Norbert Schuch y Frank Verstraete comenzaron a colaborar en este tema en 2005, en el Max Planck Institute of Quantum Optics (Alemania). Se dieron cuenta de que las simetrías presentes en los tensores que definen los estados PEPS permitían entender, de una forma muy sencilla, cómo emergen propiedades muy complicadas a nivel macroscópico –cuando se considera el sistema entero con todas las partículas–. Así, es posible explicar comportamientos exóticos de manera razonablemente sencilla.

ACTUALIDAD MATEMÁTICA: Noticias ICMAT

Resultados de investigación

Investigadores del ICMAT explican el origen de un gran vertido de petróleo en la costa mediterránea oriental

En febrero de 2021, más de 1000 toneladas de alquitrán llegaron a las costas de Israel y El Líbano. Su origen era desconocido hasta que el grupo de dinámica de fluidos geofísicos liderado por Ana M. Mancho, investigadora del CSIC en el ICMAT, junto con colaboradores de la Universidad de las Palmas de Gran Canaria y de la Universidad de Bristol, ha localizado la fuente. Resulta que el vertido proviene no de un único foco, como creían las autoridades, sino de varios que acabaron confluyendo en la costa este del Mediterráneo.

Para llegar a este resultado, que [fue publicado en marzo en la revista *Scientific Reports*](#), los investigadores han hecho uso de la teoría de sistemas dinámicos no lineales, una teoría que describe el comportamiento de grandes conjuntos de trayectorias de partículas. Para ello, identifican estructuras geométricas, conocidas como estructuras coherentes lagrangianas, que, a partir del movimiento de las corrientes, proporcionan un esqueleto dinámico del océano.



La llegada de más de 1000 toneladas a las costas del Líbano e Israel provocaron serios daños medioambientales.

Matemáticas para estudiar el contagio de la COVID-19 en África

Tras más de dos años de pandemia, se ha avanzado mucho en el conocimiento de la dispersión de la COVID-19. Según muestran diversos estudios, una de las vías de contagio son los aerosoles de partículas del virus transportadas por el aire, que llegan de una persona infectada a una susceptible. El proyecto "Computational Fluid Dynamics modeling to reduce risk of the spread COVID-19 of different isolation room in the hospital", de la investigadora marroquí Narjisse Amahjour (Universidad Abdelmalek, Marruecos), busca modelar los movimientos de aire para proponer medidas de distribución y ventilación en los hospitales que prevengan la infección. Amahjour se ha incorporado, con un contrato posdoctoral, desde mayo hasta noviembre de 2022, al ICMAT gracias al programa 'Ellas investigan', de la Fundación Mujeres por África. Amahjour está trabajando con el grupo de Dinámica de Fluidos Geofísicos, liderado por Ana María Mancho, investigadora del CSIC en el ICMAT.



Imagen: ICMAT

Narjisse Amahjour trabaja en el ICMAT gracias al programa 'Ellas Investigan' de la Fundación Mujeres por África.

Premios

La Fundación BBVA concede ayudas a dos proyectos con investigadores del ICMAT: sobre transporte marino y sobre las ecuaciones de los fluidos

La Fundación BBVA ha concedido 35 ayudas a proyectos de investigación científica, en la convocatoria de 2021. Entre los cuatro proyectos de matemáticas, se incluyen dos en los que participan investigadores del ICMAT: David Martín de Diego, en "Mathematical optimization for a more efficient, safer and decarbonized maritime transport (SMART SHIPPING)", y Ángel González Prieto, Eva Miranda y Daniel Peralta Salas, en "Computational, dynamical and geometrical complexity in fluid dynamics (COMPLEXFLUIDS)". El primer proyecto desarrollará un sistema para determinar la mejor ruta para el transporte marítimo, utilizando datos meteorológicos y de las condiciones de navegación a tiempo real; el segundo pretende explorar un nuevo enfoque en el estudio de la complejidad de los fluidos y, en concreto, en uno de los llamados Problemas del Milenio: la regularidad de las ecuaciones de Navier-Stokes. Ambas ayudas han recibido 150 000 euros para los próximos tres años.



Imagen: CC

La Fundación BBVA ha concedido ayudas a dos proyectos de investigadores del ICMAT, uno sobre transporte marino y el otro sobre las ecuaciones de los fluidos.

Ana María Mancho y Guillermo García Sánchez, miembros del ICMAT, ganan el Premio Empresas de Base Tecnológica (EBTONSIC) del CSIC

El proyecto Digital Earth Solutions, ideado por los investigadores del ICMAT Ana María Mancho y Guillermo García Sánchez, permite predecir el movimiento de cualquier vertido de petróleo sobre la superficie oceánica y reducir, así, hasta un 50 %, el impacto medioambiental, social y económico que estos puedan tener. El *software* ha recibido el Premio EBTONSIC, promovido por la Vicepresidencia Adjunta de Transferencia de Conocimiento del CSIC, que consiste en 20 000€ para avanzar en su idea de negocio y tratar de llevarla al mercado.

Imagen: CSIC



Ana María Mancho y Guillermo García Sánchez, miembros del ICMAT (centro), son los creadores de Digital Earth Solutions.

Charles Fefferman, director de uno de los Laboratorios ICMAT, nuevo premio Fronteras del Conocimiento de la Fundación BBVA

La Fundación BBVA ha otorgado su premio [Fronteras del Conocimiento de Ciencias Básicas](#) en su XIV edición a Charles Fefferman, catedrático de la Universidad de Princeton (EE. UU.) y director de uno de los [Laboratorios ICMAT](#). El jurado ha subrayado su introducción de “poderosas técnicas de análisis para resolver problemas matemáticos con una larga historia, algunos de los cuales están motivados por preguntas fundamentales de la física teórica”.

Imagen: ICMAT



Charles Fefferman ha ganado el premio Fronteras del Conocimiento de la Fundación BBVA.

Ángela Capel recibe uno de los Premios de Investigación Matemática Vicent Caselles por su tesis desarrollada en el ICMAT

Entre las personas reconocidas con los Premios de Investigación Matemática Vicent Caselles de la RSME y la Fundación BBVA 2022 se encuentra Ángela Capel, *junior professor* en la Universidad de Tubinga (Alemania), que desarrolló su doctorado en el ICMAT bajo la supervisión de David Pérez-García (ICMAT-UCM) y Angelo Lucia (ICMAT-UCM). Capel realizó su tesis dentro del área de la teoría de la información cuántica y de los sistemas cuánticos de muchos cuerpos.

Estos galardones reconocen de manera anual el trabajo de seis matemáticos y matemáticas que se encuentran en las primeras etapas de sus carreras científicas. Es una manera de valorar “la creatividad, la originalidad y la excelencia en matemáticas en los primeros años de trayectoria investigadora”, según la Fundación BBVA.



Imagen: Universidad de Tubinga

Ángela Capel ha recibido uno de los Premios de Investigación Matemática Vicent Caselles.

Institucional

José María Martell (ICMAT), nuevo vicepresidente de Investigación Científica y Técnica del CSIC y Fernando Quirós (ICMAT-UAM), nuevo director en funciones del ICMAT

José María Martell, investigador científico del CSIC en el ICMAT, fue nombrado vicepresidente de Investigación Científica y Técnica (VICYT) del CSIC en julio de 2022, momento en el que dejó el cargo de director del ICMAT que ocupaba desde 2020. A partir de entonces, Fernando Quirós, profesor titular de Matemática Aplicada en el Departamento de Matemáticas de la Universidad Autónoma de Madrid (UAM) y desde 2020 vicedirector del ICMAT, ocupa el puesto de director en funciones del Instituto.

El nuevo equipo directivo del CSIC, presidido por Eloísa del Pino, investigadora en el Instituto de Políticas y Bienes Públicos, también incluye al politólogo Carlos Closa, como vicepresidente de Organización y Relaciones Institucionales; el también politólogo Javier Moreno, como vicepresidente de Relaciones Internacionales; la química Isabel Martínez, como directora del Gabinete de la Presidencia; e Ignacio Gutiérrez Llano, como secretario general. También se incorpora al equipo la química Ana Castro, que trabajará en el área de Transferencia del Conocimiento, y se designará a una vocal asesora del área de biomedicina. Por otra parte, las vicepresidencias adjuntas las encabezarán Elena Cartea, en Áreas Científico-Técnicas; Jaime Carvajal, en Programación Científica; Isabel Díaz, en Cooperación Internacional; y Pura Fernández, en Cultura Científica y Ciencia Ciudadana.



Imágenes: José María Martell y UAM

José María Martell (izquierda) y Fernando Quirós (derecha).

Eva Gallardo, investigadora del ICMAT, nueva presidenta de la RSME

En el mes de febrero, Eva Gallardo, catedrática de la Universidad Complutense de Madrid (UCM) y miembro del Instituto de Ciencias Matemáticas (ICMAT), tomaba posesión de la presidencia de la Real Sociedad Matemática Española (RSME). Completan su equipo Victoria Otero Espinar, catedrática de la Universidad de Santiago de Compostela, como vicepresidenta primera; Luis J. Rodríguez Muñiz, profesor de la Universidad de Oviedo, como vicepresidente segundo; Yago Antolín Pichel, también investigador de la UCM y del ICMAT, como secretario; y Angélica Benito, investigadora de la Universidad Autónoma de Madrid, como vicesecretaria.

Gallardo, quien también fue vicedirectora del ICMAT de 2020 a 2022, es la segunda mujer en ocupar la dirección de la RSME, tras Olga Gil, catedrática de la Universidad de Valencia. Gallardo formó parte, como vicepresidenta, del anterior equipo de gobierno de la RSME, presidido por Francisco Marcellán, catedrático de la Universidad Carlos III de Madrid.

Imagen: Eva Gallardo



Eva Gallardo

Actividades científicas

Expertos mundiales en espacios de moduli y geometría celebran en el ICMAT el 60 cumpleaños de Oscar García-Prada

En el mes de septiembre, el ICMAT acogió un congreso en honor de Oscar García-Prada, profesor de investigación del CSIC en el ICMAT: [Moduli spaces and geometric structures. Conference in honour of Oscar García-Prada on the occasion of his 60th birthday](#). La actividad contó con 21 ponencias de investigadores e investigadoras, expertos reconocidos en estos temas, que colaboran de manera habitual con García-Prada.



Imagen: ICMAT

Especialistas en espacios de moduli y geometría se reunieron para celebrar el 60 cumpleaños de Oscar García Prada (ICMAT-CSIC).

Geometría y sus aplicaciones a la mecánica y la física matemática, en el ICMAT

Desde 1992, tiene lugar de manera anual el [International Fall Workshop on Geometry and Physics](#), un congreso que reúne a geómetras y físicos provenientes de diferentes países, con el objetivo de intercambiar los últimos avances en los campos de la geometría diferencial y sus aplicaciones a la mecánica y la física matemática. Celebrado dos años en España y uno en Portugal de manera sucesiva desde entonces, este año fue [el ICMAT la institución que acogió la actividad](#), del 29 de agosto al 2 de septiembre, de manera presencial tras dos años haciéndolo telemáticamente por la pandemia. El congreso incluyó dos minicursos, ocho conferencias invitadas, diferentes charlas cortas y una sesión de pósteres.



Imagen: ICMAT

Después de dos años, el International Fall Workshop on Geometry and Physics volvió a celebrarse de manera presencial.

Encuentros sobre geometría de Poisson

La edición de 2022 de la [Conferencia Internacional sobre Geometría de Poisson en Matemáticas y Física](#) se ha dividido en una escuela y en un congreso, acogidos por el Centre de Recerca Matemàtica (CRM) y el ICMAT, respectivamente. La escuela se celebró la semana del 18 al 22 de julio y, del 25 al 29 de julio, tuvo lugar el congreso en el ICMAT y en la sede central del CSIC en Madrid.

En la inauguración del congreso tuvo lugar la entrega de los premios Andre Lichnerowicz a Álvaro del Pino Gómez, profesor adjunto en la Universidad de Utrecht (Países Bajos) y antiguo estudiante de doctorado en el ICMAT; y Yiannis Loizides, *assitant professor* en la Universidad de Cornell. Además, en el marco de este congreso, el martes 26 de julio se celebró una nueva cita del ciclo divulgativo '[Matemáticas en la Residencia](#)'. Con el título "Emmy Noether, una de las grandes mentes matemáticas del siglo XX", Yvette Kosmann-Schwarzbach y Tudor Ratiu (Shanghai Jiao Tong University, China) destacaron algunos aspectos de la figura de la matemática alemana y dieron a conocer sus principales contribuciones a las matemáticas y a la física. El congreso y escuela Poisson 2022 forman parte del [programa temático Poisson](#), organizado de manera conjunta por el ICMAT y el CRM.



Imagen: ICMAT

La inauguración del congreso tuvo lugar en el salón de actos del CFTMAT.

La red NET4IMPACT presentó en el ICMAT sus resultados sobre impacto social de la ciencia

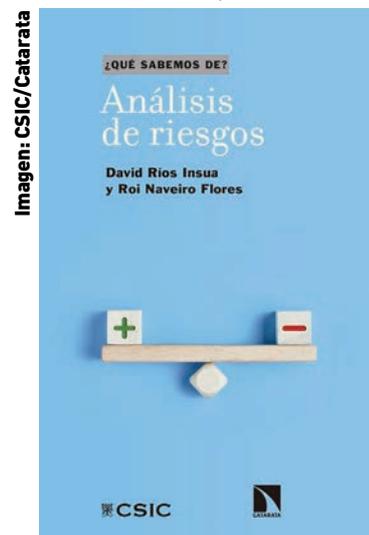
El pasado mes de junio se celebró en el ICMAT la conferencia final del proyecto NET4IMPACT, cuyo principal objetivo era intercambiar información, metodologías y evidencias en torno al impacto social de la investigación y, también, proponer indicadores para medirlo. El evento contó con expertos y expertas en impacto social de la ciencia como Teresa Riesgo, secretaria general de innovación del Ministerio de Ciencia e Innovación; Marta Soler Gallart, coordinadora de NET4IMPACT; Ramón Flecha, coordinador del grupo de expertos en metodologías de evaluación del programa de investigación de la Comisión Europea; Eduardo Oliver, vicepresidente de la iniciativa Ciencia en el Parlamento; o Luis Miller, científico titular del Instituto de Políticas y Bienes Públicos.



La conferencia final del proyecto NET4IMPACT contó con expertos y expertas en impacto social de la ciencia.

Investigadores del ICMAT explican cómo gestionar el riesgo de epidemias, robos o ciberataques en un libro de divulgación

David Ríos y Roi Naveiro, investigadores del CSIC en el ICMAT, son autores de *Análisis de riesgos*, un nuevo título de la colección '¿Qué sabemos de?' (CSIC-Catarata). El texto describe las herramientas y metodologías que se utilizan para cuantificar y gestionar el riesgo, algo fundamental en la sociedad moderna. Los autores exponen las tres fases principales del análisis de riesgos: la evaluación de las amenazas bajo estudio, que aborda la estimación de la probabilidad de que estas se materialicen, así como la evaluación de su impacto en caso de que lo hagan; la gestión, que comprende las actividades realizadas para reducir la probabilidad de que se materialicen las amenazas o minimizar su impacto; y la comunicación, que se refiere al intercambio de opiniones e información relativa a los riesgos, ya sea entre evaluadores, gestores o cualquier otra parte involucrada en el problema.



David Ríos y Roi Naveiro (ICMAT-CSIC) son los autores de *Análisis de riesgos*.

Actividades de divulgación

El ICMAT pone en marcha una escuela de matemáticas para jóvenes

El ICMAT pone en marcha el Pequeño Instituto de Matemáticas (PIM), un proyecto dirigido a jóvenes de entre 14 y 18 años basado en el llamado método de enseñanza reflexiva, es decir, el fomento de la curiosidad como motor de aprendizaje, con el objetivo de que el alumnado disfrute con las matemáticas, resolviendo problemas que no abarca el currículum escolar.

La escuela, que comenzó el 14 de octubre de 2022, consiste en sesiones que tendrán lugar todos los viernes del curso académico, excepto festivos, de 17:30 a 20:00 horas, en las instalaciones del ICMAT, ubicado el Campus de Cantoblanco de Madrid. En ellas, se seguirá la metodología de los llamados círculos matemáticos, en los que se trabajan en grupo las soluciones a los ejercicios, obtenidas por el estudiantado en casa antes de la puesta en común. El profesorado del PIM está formado por estudiantes de máster y doctorado del ICMAT, la Universidad Autónoma de Madrid y la Universidad Complutense de Madrid. Su trabajo consiste en supervisar las discusiones en clase, poniendo también en valor los intentos fallidos de resolución de los problemas.

Esta primera edición cuenta con la colaboración del Departamento de Matemáticas de la Universidad Autónoma de Madrid (UAM) y de la Real Sociedad Matemática Española (RSME).



En PIM se seguirá la metodología de los llamados círculos matemáticos.

Las matemáticas que esconden el arte indio y africano

En el mes de abril, tuvo lugar en el ICMAT la jornada "Mathematics and art: An ethnomathematical exploration", que incluyó dos charlas: "Mathematics of kolam", impartida por Oscar García-Prada (ICMAT-CSIC); y "Mathematics and art in Africa", impartida por Steven Bradlow (University of Illinois at Urbana-Champaign). Como apertura de la jornada, se realizaron unos kolam –pinturas geométricas realizadas con trazas con harina de arroz en el suelo– en la entrada del centro. El día anterior, se inauguró la exposición fotográfica "Kolam: Un arte efímero de mujeres del sur de la India", de Claudia Silva, que acogió la Sala de Exposiciones de la UAM.

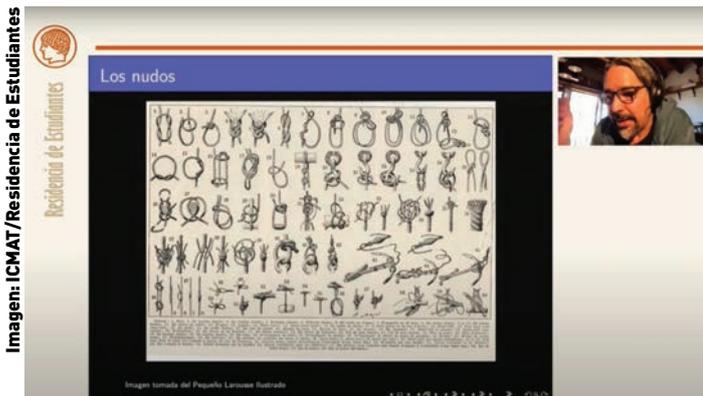


Los kolam son pinturas geométricas realizadas por mujeres del sur de la India con trazas de harina de arroz.

Las matemáticas y el arte de los nudos, en la Residencia de Estudiantes

Aubin Arroyo, investigador en el Instituto de Matemáticas de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), impartió la charla "Nudos mansos y nudos salvajes", en el marco del ciclo 'Matemáticas en la Residencia', organizado por el ICMAT, en colaboración con la Residencia de Estudiantes y el área de Cultura Científica del CSIC. En ella, Arroyo mostró cómo se conciben y cómo se estudian los nudos en las matemáticas y algunas nociones de la teoría de los nudos, hasta llegar a los nudos infinitamente complejos, los llamados nudos salvajes.

La charla está [disponible](#) en el canal de YouTube del ICMAT.



Aubin Arroyo durante un momento de su charla.

El ICMAT celebró el día de las mujeres en matemáticas con una conferencia en honor a Maryam Mirzakhani y una conversación sobre sesgos de género inconscientes

El 12 de mayo se celebró el día de las mujeres en matemáticas (Celebrating Women in Mathematics), una jornada internacional que sirve de homenaje a Maryam Mirzakhani y de reivindicación de las mujeres matemáticas. Entre los cientos de actividades organizadas dentro de la iniciativa hubo dos del ICMAT: la primera de ellas fue una conversación con Christina Brech (Universidad de São Paulo) sobre sesgos de género inconscientes en el ámbito matemático, que tuvo lugar en el Instituto. La segunda actividad fue una charla dedicada, precisamente, a Mirzakhani en el quinto aniversario de su fallecimiento. Fue impartida por Javier Aramayona (ICMAT-CSIC) y se celebró en el marco del ciclo divulgativo 'Matemáticas en la Residencia', en la Residencia de Estudiantes. La charla está [disponible](#) en el canal de YouTube del ICMAT.



Javier Aramayona dio a conocer las matemáticas de Maryam Mirzakhani en 'Matemáticas en la Residencia'.

AGENDA 2022/2023

Semana de la Ciencia y la Tecnología 2022

- **Simetrías, rocas y otras herramientas para el desarrollo sostenible**
Fecha: 10-11 de noviembre de 2022
Lugar: Sede central del Instituto Geológico y Minero de España (IGME), Madrid
- **El lugar de la ciencia básica en la investigación y en el desarrollo sostenible**
Fecha: 14 de noviembre de 2022
Lugar: Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de España (RAC), Madrid
Online: Canal de YouTube de la RAC

Programa temático: Quantum Information Theory (QIT)

Febrero-marzo de 2023, ICMAT

- **Advanced School: Optimization methods in Quantum Information**
Fecha: 27 de febrero-3 de marzo de 2023
- **Focus Week 1: Tensor Networks**
Fecha: 6-10 de marzo de 2023
- **Focus Week 2: Quantum Many Body**
Fecha: 13-17 de marzo de 2023
- **Focus Week 3: Functional Analysis and Quantum Information**
Fecha: 20-24 de marzo de 2023
- **Advanced School: Operator algebras, quantum information and quantum many body systems**
Fecha: 27-31 de marzo de 2023

Programa temático: Moduli Spaces and Geometric Structures

Abril-junio de 2023, ICMAT

- **Workshop on The Hitchin system, Langlands Duality and Mirror Symmetry**
Fecha: 24-29 de abril de 2023
- **Workshop on Higgs Bundles, Character Varieties and Higher Teichmüller Spaces (joint activity with the ICMAT Agol Laboratory)**
Fecha: 22-26 de mayo de 2023
- **Workshop on Gauge Theory, Canonical Metrics and Geometric Structures**
Fecha: 19-23 de junio de 2023
- **Moduli Seminar**
Fecha: 1 de abril-30 de junio de 2023

Workshop: 13th Bayesian Inference for Stochastic Processes

Fecha: 22-24 de mayo de 2023

Lugar: Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

7th Symposium on Games and Decisions in Reliability and Risk (GDRR)

Fecha: 24-26 de mayo de 2023

Lugar: Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

Programa temático: 2023 Thematic Period on PDEs Diffusion, Geometry, Probability and Free Boundaries

Junio-diciembre de 2023

- **BIRS-IMAG Workshop: Nonlinear Diffusion and Nonlocal Interaction Models – Entropies, Complexity, and Multi-scale Structures**
Fecha: 28 de mayo-2 de junio de 2023
Lugar: IMAG (Granada)
- **Summer Program on Conformal Geometry and Non-local Operators**
Fecha: 19-30 de junio de 2023
Lugar: IMAG (Granada)
- **Nonlinear PDE Workshop**
Fecha: 10-14 de julio de 2023
Lugar: ICMAT

Producción:

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

Comité editorial:

Alberto Enciso
Daniel Peralta-Salas
Ágata Timón García-Longoria
Fernando Quirós

Coordinación:

Laura Moreno Iraola
Ágata Timón García-Longoria

Maquetación:

Equipo globalCOMUNICA

Traducción:

Jeff Palmer

Redacción:

Laura Moreno Iraola
Ágata Timón García-Longoria
Iberomedia

Creative Commons

