

Entrevista a Angelo Lucia, Premio José Luis Rubio de Francia 2017

por

Carlos Palazuelos

Angelo Lucia ha sido distinguido por la Real Sociedad Matemática Española con el Premio José Luis Rubio de Francia en su edición número XIV, correspondiente al año 2017.

El campo de trabajo de Angelo se sitúa entre la Física de la Materia Condensada y la Teoría de Información Cuántica. En la concesión de este premio, el jurado ha destacado precisamente la contribución de Angelo al estudio de sistemas físicos formados por muchas partículas y gobernados por las leyes de la mecánica cuántica.

Angelo Lucia nació en Scafati (Italia) en 1987. Se graduó en Matemáticas en la Università di Pisa, donde también obtuvo un Máster en Matemáticas en 2011. Posteriormente se trasladó a la Universidad Complutense de Madrid, donde se doctoró



en julio de 2016 con la tesis «Stability and area law for rapidly mixing quantum dissipative systems», realizada bajo la dirección de David Pérez-García y Toby Cubitt. Tras su primer contrato postdoctoral en el QMATH - Center for the Mathematics of Quantum Theory de Copenhague, desde septiembre de 2018 desarrolla su investigación en el Instituto Tecnológico de California.

Carlos Palazuelos: En primer lugar quiero darte la enhorabuena por haber recibido el prestigioso premio José Luis Rubio de Francia. ¿Cómo te enteraste de que te lo habían concedido y qué sentiste al recibir la noticia?

Angelo Lucia: ¡Muchas gracias! La verdad es que ha sido una gran sorpresa. Estaba en un congreso en Florencia e iba de camino a cenar con otros asistentes, cuando recibí un correo en el móvil. Al ver el objeto del mensaje me costaba crérmelo. ¡Me quedé un rato leyendo y releendo el correo!

CP: El jurado, que ha estado formado por matemáticos de primer nivel internacional, ha reconocido tu contribución al estudio de sistemas físicos formados por muchas partículas y gobernados por las leyes de la mecánica cuántica. ¿Podrías explicar en qué consiste este tema y por qué es tan relevante?

AL: A principios del siglo XX la comunidad científica se dio cuenta de que para explicar el funcionamiento de los átomos y de las partículas subatómicas se requerían leyes físicas distintas de las que se conocían hasta entonces; básicamente, la mecánica de Newton y el electromagnetismo clásico. Esto llevó a estudiar lo que se conoce como física cuántica. Gracias a ella se han podido hacer predicciones muy afinadas y explicar fenómenos que antes no estaban claros, por lo que podemos decir que ha sido, sin duda, una teoría de éxito. Al mismo tiempo es una teoría que produce muy rápidamente problemas matemáticos que parecen casi imposibles de resolver. Por ejemplo, si se quiere saber por qué dos átomos se juntan en una molécula en vez de separarse, se debe calcular el mínimo del espectro de un operador no acotado dado, y esto es muy complicado incluso para átomos simples, o aunque solo estemos interesados en una aproximación numérica.

Si el estudio del comportamiento de unos pocos átomos es difícil, podemos imaginar la complejidad de explicar lo que pasa en materiales donde hay billones de átomos. Esta complejidad motiva que se consideren modelos que en cierto sentido son una versión cuántica de la mecánica estadística. Esto es, se reduce cada átomo de un material a una variable simple, por ejemplo su momento magnético, y de esta manera las interacciones entre dos átomos se pueden describir de manera elemental. De hecho, esta interacción se describe por medio de matrices de tamaño pequeño. Pero para entender las propiedades del material, como su magnetización o su conductividad, hay que estudiar cuál es el efecto colectivo de este billón de átomos. Muchas de las propiedades exóticas de los materiales, como la superfluidez o la superconductividad, se pueden estudiar de esta forma.

CP: Tanto esta línea de trabajo como sus aplicaciones tienen una clara motivación física. ¿Por qué es este tema tan importante desde un punto de vista matemático?

AL: Como he dicho, de los modelos físicos se obtienen objetos matemáticos muy complicados, y creo que, por lo tanto, es muy interesante desarrollar teorías matemáticas que nos permitan estudiarlos. En gran parte se trata de problemas de análisis de operadores y, cuando nos ocupamos de dinámicas disipativas, de una versión no conmutativa de los procesos estocásticos. Pero hay muchas conexiones con áreas muy distintas de las matemáticas, que es algo que yo valoro mucho. Para dar un ejemplo, quizás extremo, con unos coautores en Copenhague estamos trabajando en un problema donde usamos técnicas de Complejidad Algebraica.

CP: ¿Podrías explicar algún ejemplo concreto en el que hayas trabajado y donde se muestre la interconexión entre Física y Matemáticas?

AL: En el caso de sistemas disipativos, hay situaciones donde la configuración de nuestro sistema converge con el tiempo a un estado límite, un punto de equilibrio de la evolución. Es entonces bastante natural preguntarse cuánto tiempo va a tardar el sistema en equilibrarse. Si me interesa el estado de equilibrio del sistema, por ejemplo porque lo pueda usar para alguna aplicación concreta, este tiempo de convergencia me dice cómo de eficiente es el proceso disipativo, en el sentido de que puedo entenderlo como un protocolo de preparación del estado de equilibrio. Aparte del interés obvio que tiene conocer la velocidad de convergencia, uno de los resultados que probé en mi tesis doctoral muestra que si la convergencia es suficientemente rápida, entonces se cumplen una cuantas propiedades importantes. Por ejemplo, el estado de equilibrio va a ser estable con respecto a perturbaciones extensivas de la evolución. Esto es relevante ya que, si el estado de equilibrio no es estable, entonces no importa mucho si el proceso que lleva a dicho estado es eficiente dado que, en la práctica, lo que va a pasar es que pequeños errores van a estropear el proceso y vamos a obtener un estado final radicalmente distinto. Para aplicaciones físicas la estabilidad es realmente fundamental.

Una manera de obtener cotas para el tiempo de convergencia es analizar el espectro del generador de la evolución. En este sentido, los autovalores puramente imaginarios corresponden a estados periódicos del sistema, mientras que todos los que tienen parte real negativa corresponden a subespacios que serán suprimidos con el paso del tiempo. Un autovalor con parte real más cercana a cero corresponderá a una evolución más lenta hacia los puntos fijos. Al valor mínimo que la parte real de un autovalor puede tener se le llama *gap espectral* del generador, y de él podemos obtener una cota para el tiempo de convergencia. Esta cota que viene del *gap espectral* puede ser bastante buena para muchas aplicaciones, pero desafortunadamente no es suficiente para probar la convergencia rápida que he mencionado anteriormente. Por tanto, para probar la estabilidad hay que desarrollar otras técnicas que nos permitan decidir si un sistema dado tiene esta evolución muy rápida.

Las desigualdades de log-Sobolev son una opción que tenemos para probar esta convergencia. Una manera un poco simplificada de explicar qué son esas desigualdades consiste en decir que describen la convergencia del sistema hacia el punto fijo,

no en la norma natural, sino en una medida que se llama *entropía relativa* o *divergencia*, que es bastante más fuerte. Efectivamente, las desigualdades de log-Sobolev son desigualdades que relacionan la entropía relativa (entre el estado del sistema en un tiempo t y el estado de equilibrio) y su derivada con respecto al tiempo, por lo que, sin dar más detalle, se puede intuir por qué de este tipo de desigualdades vamos a obtener comportamientos de tipo exponencial.

CP: En el campo en el que trabajas confluyen científicos de distintas áreas: matemáticos, físicos, informáticos... ¿Es fácil interactuar con personas de distintas disciplinas?

AL: Obviamente es algo que cuesta un poco al principio porque todo el mundo tiene su lenguaje, sus técnicas y su manera de mirar a los problemas. Pero, al mismo tiempo, creo que invertir tiempo en esta interacción merece la pena. Además de que esto permite, en general, avanzar mucho más rápidamente en la resolución de problemas, desde mi punto de vista es muy estimulante a nivel personal. Quizás el único aspecto negativo que veo se encuentra en el momento de publicar los resultados. Trabajar en distintas disciplinas conlleva que el estilo de los artículos es diferente, las revistas donde cada investigador quiere publicar son distintas, el orden de los autores puede ser relevante en algunas disciplinas, etc. Ahí es donde las distintas culturas se enfrentan y no hay mucho margen de compromiso, debido sobre todo a que el contexto lo pone muy difícil: las editoriales, los centros de financiación, etc. No obstante, este aspecto negativo aparece cuando ya se ha conseguido algún resultado, así que ya se vive como un problema menor.

CP: ¿Podrías citar a algunas personas que hayan hecho grandes contribuciones en tu campo de trabajo?

AL: Definitivamente debo mencionar a Elliot Lieb y a Duncan Haldane que, a partir de la segunda mitad de los años 70, abrieron muchas de las líneas de investigación en las que se sigue trabajando hoy en día, como por ejemplo el estudio de modelos antiferromagnéticos de espines. De la generación siguiente seguramente hay que recordar a Matthew Hastings y a Alexei Kitaev, entre otras cosas por el estudio de los modelos topológicos y su aplicación a los códigos cuánticos de detección y corrección de errores y a la computación cuántica. Creo que todos ellos tienen el mérito de saber moverse con mucha confianza entre el rigor de las Matemáticas y la intuición de la Física.

CP: En tu caso concreto, ¿cuáles dirías que son los principales resultados por los que has recibido el premio José Luis Rubio de Francia?

AL: Tengo tres resultados principales que creo han sido relevantes, y demuestran muy bien cómo mi trabajo se relaciona con problemas físicos y de informática. El primero es un resultado de estabilidad para sistemas disipativos, algo que ya he mencionado anteriormente. En estos sistemas de muchas partículas, una manera natural de hacer una perturbación del generador de la evolución es perturbar cada interacción local mediante una perturbación pequeña. Entonces, al considerar el límite cuando el número de partículas tiende a infinito, todas estas perturbaciones,

que localmente son débiles, se suman y, globalmente, lo que estamos haciendo ya no es una perturbación pequeña en el sentido de la teoría de perturbaciones. Por tanto, no está nada claro cuál es el comportamiento del sistema en este caso. Lo que probamos nosotros es que hay un régimen donde estos sistemas son estables, en un sentido adecuado, bajo estas perturbaciones, y que este régimen depende esencialmente de la velocidad de convergencia del sistema original.

El segundo resultado es una propiedad de superaditividad de la entropía relativa que, como ya he mencionado, es importante porque está relacionada con las desigualdades de log-Sobolev, y estas lo están a su vez con el resultado de estabilidad explicado en el párrafo anterior. Se sabía que si no hay correlaciones entre las distintas partes del sistema, es decir, si todas las componentes se comportan de manera independiente de las otras, entonces la entropía relativa es superaditiva. Esto es, la entropía relativa del sistema total es mayor que la suma de las entropías de las distintas partes del sistema. Lo que probamos nosotros es una extensión de este resultado clásico. Concretamente, demostramos que si el sistema está cerca de ser *no correlacionado* y sus partes son casi independientes, entonces la superaditividad sigue siendo casi cierta. Es decir, se cumple la misma desigualdad si multiplicamos la entropía total del sistema por una constante menor que uno, donde esta constante cuantifica las correlaciones existentes en el sistema. Si no hay ninguna correlación entre las partes, entonces la constante es exactamente uno. Es un resultado muy bonito porque no hace falta hablar de Física para entenderlo, sino que se puede ver como una propiedad elemental de la entropía relativa, que es una cantidad muy usada en Teoría de la Información.

El tercer resultado es la construcción de un nuevo tipo exótico de transición de fase. En Física se suelen considerar transiciones de fases que dependen de uno o más parámetros externos: por ejemplo, la temperatura y la presión en las transiciones de fases entre el agua, el hielo y el vapor. Lo que hicimos fue construir modelos donde la transición de fase no depende de ningún parámetro externo, sino que depende solamente del tamaño del sistema mismo. Es decir, una pieza de este hipotético material tiene ciertas propiedades si no es demasiado grande, pero en cuanto llegue a un tamaño crítico, con solo añadir un átomo más, las propiedades cambian radicalmente y empieza a comportarse de manera completamente distinta. Esto puede tener implicaciones para las previsiones numéricas: como el tamaño donde esta transición se cumple es increíblemente grande, si se intenta hacer una simulación con un ordenador no se va a ver el fenómeno a larga escala, así que las previsiones van a ser totalmente equivocadas.

CP: Supongo que este tipo de premios le motivan a uno para abordar los problemas más importantes en su campo. ¿Cuáles son los problemas que te parecen más interesantes o desafiantes, y en los que te gustaría trabajar o estás trabajando ya?

AL: La verdad es que sí, que estoy pensando en algún problema más a largo plazo. Hay una clase de estados cuánticos que se llaman *líquidos de espines*, donde la palabra «líquido» expresa la idea de que el estado no está ordenado, de la misma manera que el agua no tiene el orden que tiene el hielo, por ejemplo.

La diferencia con el agua es que los líquidos de espines siguen siendo desordenados por mucho que los enfriemos, algo que claramente no pasa con el agua, ni con muchas otras sustancias. Son unos estados interesantes porque podrían explicar la superconductividad a altas temperaturas o tener aplicaciones en modelos de computación cuántica. Para que un modelo matemático sea un líquido de espines, tiene que cumplir unas cuantas condiciones, y todavía falta una demostración matemática de que estas condiciones se puedan cumplir todas a la vez. Podría ser que esto no sea posible y que, por lo tanto, esta sea una clase vacía. En este caso, tampoco se podría construir algo de ese tipo en un laboratorio. Tenemos unos candidatos muy prometedores a ser líquidos de espines, pero todavía falta una demostración rigurosa de que sea así. Quizás no logre resolver el problema en su totalidad, pero espero poder contribuir a que tengamos un mejor conocimiento sobre estos modelos.

CP: Uno de los objetivos principales en Teoría de Información Cuántica es construir un ordenador cuántico. ¿Podrías explicar algún ejemplo de lo que seríamos capaces de hacer con un ordenador cuántico y no podemos hacer hoy en día?

AL: Esta pregunta es complicada porque realmente no sabemos muy bien lo que podemos hacer ni siquiera con los ordenadores clásicos que tenemos actualmente. Lo que sí sabemos es que con un ordenador cuántico podemos factorizar números enteros en sus factores primos de manera eficiente, lo cual permite romper un esquema criptográfico muy usado llamado RSA. Pero realmente no hay ninguna prueba de que eso mismo no se pueda hacer con un ordenador clásico. Simplemente, lo hemos intentado demostrar y no hemos sido capaces. Así que hemos decidido basar buena parte de la seguridad de las comunicaciones en Internet, incluso aquellas que involucran dinero, en el sistema RSA. Por expresar la situación de una forma más general, todavía no sabemos si los ordenadores cuánticos pueden resolver todos los problemas en la clase NP. De hecho, mucha gente cree que no. Cabe mencionar que si el problema de factorizar números enteros (que, como he mencionado más arriba, sí se puede resolver con un ordenador cuántico) fuera NP-completo, entonces la cuestión anterior sería afirmativa. No obstante, se piensa que el problema de factorizar no es NP-completo. Por otro lado, para poder factorizar números enteros en la práctica, hace falta un ordenador cuántico muy grande y con una calidad de componentes muy alta. Y esto es algo que no se prevé alcanzar a corto plazo.

Ahora mismo hay muchas empresas que están invirtiendo en computación cuántica y que están intentando demostrar que los prototipos que se están desarrollando pueden realizar algún cálculo que no sea posible con un ordenador clásico, aunque este cálculo no sirva para nada. Que yo sepa, nadie ha logrado todavía hacer esto, y creo que el hecho de que haya preguntas tan simples a las cuales no sabemos contestar de manera satisfactoria es algo muy interesante para los científicos. Por otro lado, creo que si realmente logramos construir un ordenador cuántico de tamaño razonable, las primeras aplicaciones estarán relacionadas con la simulación de otros sistemas cuánticos: moléculas grandes, propiedades de materiales, etc. Hoy en día, estas cosas no se pueden estudiar con ordenadores clásicos, así que sería muy interesante como aplicación, aunque no sea algo que todo el mundo quiera hacer en su

casa. Quizás pueda parecer menos revolucionario, pero sin duda tiene una utilidad enorme para la ciencia.

CP: Seamos optimistas: año 2100, todos los ordenadores actuales se han remplazado por ordenadores cuánticos. ¿En qué ha contribuido el trabajo de Angelo Lucia para llegar a esto?

AL: Como he dicho, dudo mucho que todos los ordenadores actuales vayan a ser remplazados por ordenadores cuánticos, pero estoy dispuesto a asumir que en todas las universidades de cierta relevancia habrá un centro de computación cuántica, de la misma manera que en muchas hoy tienen un supercomputador. ¿En qué habrá contribuido mi trabajo en esto? Hay varias tecnologías que están compitiendo en este momento para la construcción de un ordenador cuántico y nadie sabe cuáles de ellas tendrán más éxito, así que dependerá en parte de esto. Pero el gran problema que hay que superar es cómo controlar y limitar el ruido en estos sistemas, así que espero que mi contribución a entender cómo funcionan los procesos de ruido cuántico pueda haber ayudado a solucionar estos problemas tecnológicos.

CP: Tras estudiar Matemáticas en Italia, decidiste realizar tu tesis doctoral en la Universidad Complutense de Madrid. ¿Qué razones te llevaron a ello?

AL: Hice una estancia Erasmus en Madrid durante mis estudios, así que ya conocía la ciudad y a algún profesor del departamento. En concreto había seguido un curso de Criptografía Cuántica que impartía David Pérez-García y que me había gustado mucho. Así que decidí escribirle preguntándole sobre las opciones de hacer un doctorado con él. Durante el Máster me había especializado más en Análisis Funcional, así que, para mí, trabajar en Información Cuántica supuso un gran cambio de tema. No obstante, el hecho de que David tuviera una formación parecida contribuyó a que no me preocupase mucho de eso.

David tiene la mayor parte del mérito de que yo decidiera hacer la tesis en la Universidad Complutense de Madrid. En primer lugar, porque me había dado cuenta de que me iba a gustar mucho trabajar con él. Pero creo que también contribuyó mucho el hecho de que había un grupo de investigación bastante internacional. Había varios postdocs que venían de otros países y eso me dio muy buena impresión.

CP: ¿Cuál es tu opinión sobre el nivel de Matemáticas en España en comparación con otros sitios donde has desarrollado tu investigación?

AL: Me cuesta mucho hacer comparaciones porque sé que, al fin y al cabo, he visto una parte muy pequeña de la situación de España y de fuera, y no me gusta hacer generalizaciones basándome en eso. Por tanto, intentaré matizar la pregunta de diferentes maneras.

En España he visto grupos de investigación de nivel totalmente comparable con los que he encontrado en otras partes del mundo. Como he dicho, me cuesta más hablar de un «nivel medio», de cualquier manera en que uno quiera definirlo. En Italia tenemos posiblemente unas escuelas y unas tradiciones más famosas que las de España, quizás más fuertes y extensas. Pero, al mismo tiempo, la situación de

normas y estructuras que regula la investigación me parece un poco mejor en España, aunque cueste creerlo. Creo que una señal muy indicadora de estos dos fenómenos es la cantidad de italianos que vienen a España para hacer un doctorado o incluso como profesores, comparado con el flujo en la otra dirección.

Dinamarca es, al contrario, un país muy pequeño y que, por lo tanto, siempre ha tenido que apuntar mucho a la internacionalización. Además tiene la suerte de tener una gran cantidad de financiación privada dedicada a la investigación, incluso a la investigación básica y no aplicada, como suele ser gran parte de las Matemáticas (aunque no siempre sea así) y eso, sin duda, ayuda mucho. También Caltech (el Instituto Tecnológico de California) es un lugar muy especial. Aunque es uno de los centros de investigación más prestigiosos del mundo y logra atraer investigadores de todos los países, tiene un tamaño relativamente pequeño. Así que creo que es importante entender por qué estos lugares tienen tanto éxito, pero también recordar que lo que funciona para una universidad con mil estudiantes puede no funcionar para una universidad con cincuenta o sesenta mil.

CP: Imagina que una persona al margen del mundo científico te pregunta en qué consiste tu investigación, ¿qué le contarías?

AL: Depende mucho de cuánto quiero que se alargue la conversación. Decir que te ocupas de matemáticas suele acortarla bastante, desafortunadamente. Decir que te ocupas de estudiar propiedades de materiales que se explican mediante la mecánica cuántica suele suscitar un poco más de interés. Creo que esto es porque la palabra «cuántica» es muy fascinante. En el otro extremo, a veces me gusta decir que me ocupo de azulejos, dado que uno de mis resultados se basa en un problema de *teselación* del plano, ¡y ver la reacción de incredulidad que eso provoca!

CP: *Grazie mille*, Angelo. Ha sido un placer entrevistarte. ¡Enhorabuena una vez más!

AL: El placer es mío, ¡muchas gracias!

CARLOS PALAZUELOS, DEPARTAMENTO DE ANÁLISIS MATEMÁTICO Y MATEMÁTICA APLICADA, FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS, UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID, PLAZA DE CIENCIAS S/N, 28040 MADRID

Correo electrónico: carlospalazuelos@mat.ucm.es