Discurso de investidura como Doctor "honoris causa" del Excmo. Sr. D. Rainer Blatt

31 de enero de 2020

Excelentísimo y Magnífico Rector, Autoridades Universitarias, Profesores, Señoras y Señores:

Es un gran honor y un inmenso placer para mí recibir un doctorado honorífico de la Universidad Complutense, una de las universidades más antiguas y distinguidas de Europa y del mundo.

Mi querido amigo Miguel Ángel Martín-Delgado ya ha mencionado muchos de los pasos y los logros de mi carrera en su discurso. Trataré de añadir algo más de información que les permitirá, quizás, entender un poco mejor cómo se logró todo ello. En gran parte, todo se debe a los esfuerzos de los grandes equipos con los que he tenido el placer de trabajar durante varias décadas, y gracias a la colaboración de muchos compañeros ilustres.

Cuando empecé mis estudios en la Universidad de Mainz, quería ser profesor de Matemáticas y Física en institutos. Como parte de mi formación, mientras estudiaba daba clases a tiempo parcial en un instituto. Si bien por lo general me gustaba trabajar con alumnos de instituto, a lo largo de mis estudios mis intereses cambiaron gradualmente, y la Física Fundamental me llamó cada vez más la atención. Finalmente decidí centrarme en la Física y sacarme un doctorado.

En ese momento, había un grupo experimental potente en la Universidad de Mainz que estudiaba los átomos con carga (es decir, los iones) y las partículas elementales, en concreto los electrones y sus primos positivos, los positrones, en un dispositivo que llamaron "trampa". De hecho, fueron capaces de capturar pequeñas nubes e incluso partículas individuales cargadas y conservarlas durante minutos, horas, en la punta de los dedos para medirlas. Esta técnica me fascinó irremediablemente, ya que proporcionaba una herramienta ideal para estudiar la física cuántica en el nivel más elemental: tan solo unos pocos cuantos disponibles en el espacio libre, a tu disposición para contemplarlos y trabajar con ellos. La física cuántica con átomos (y los apasionantes iones atómicos) tuvo, pues, un significado muy particular para mí, y fui capaz de aprender y dominar esas técnicas.

Tener las partículas fácilmente a tu disposición durante un tiempo prolongado te permite medir sus propiedades de una manera fina, con una gran precisión. Por lo tanto, dichos experimentos son la base para medir el tiempo a nivel atómico, es decir, para los relojes atómicos. Con ellos, aprendí a amar el arte de tomar mediciones, esto es, la metrología, en este caso con iones atómicos y radiofrecuencias.

Como joven doctorando, estaba ansioso por aprender más acerca de las mediciones de precisión. Con la aparición de los láseres sintonizables en los años 70, era evidente que el próximo paso hacia una mayor precisión requería justamente de radiación óptica (láser) controlada. El experto mundial por entonces era John L. Hall, de JILA, en Boulder, Colorado, en Estados Unidos (ganador del Nobel de 2005, por la tecnología láser de peine de frecuencias). Así pues, colaboré con él en 1982 como investigador de posdoctorado para aprender sobre la tecnología láser de precisión.

Las mediciones precisas son posibles..., cuando los átomos no se mueven. En esa época, a principios de los 80, algunos equipos de Alemania y Estados Unidos habían desarrollado técnicas de enfriamiento con luz láser. Permitían congelar el movimiento de partículas atómicas, y un compañero de posdoctorado y yo, junto con Jan Hall, fuimos capaces de demostrar la detención de átomos en movimiento libre (neutros): una técnica y un ingrediente muy importante en las mediciones de precisión.

Prácticamente prendado de la posibilidad de atrapar partículas atómicas individuales y armado ahora con el conocimiento de la tecnología láser de precisión, me uní al equipo de Peter Toschek y Werner Neuhauser, en Hamburgo, donde atrapamos y estudiamos iones simples de Ba+. Iluminamos estos iones con un haz láser y eliminamos su movimiento residual en la trampa gracias al enfriamiento láser, hasta el punto en que se quedaron en el centro de la trampa con una incertidumbre de tan solo unos pocos nanómetros, ¡unas pocas millonésimas de milímetro! Estos átomos emitían una luz fluorescente, una luz verde, que podíamos observar a simple vista bajo el microscopio. La capacidad de "ver" de verdad un solo átomo irradiando luz no dejó de fascinarme y cautivarme. Incluso hoy, ver esa luz proveniente de una sola partícula me asombra. Todos ustedes son muy bienvenidos a visitar a nuestro equipo en Innsbruck, donde podrán unirse al club de los observadores de iones.

Ser capaces de confinar un solo átomo con tal precisión y de examinarlo *in situ* nos permitió, por primera vez, observar los proverbiales saltos cuánticos que, en 1913, Niels

Bohr había propuesto junto con su modelo de átomo. Estos saltos se volvieron directamente visibles como un átomo parpadeante, es decir, el electrón radiante salta de un estado cuántico del átomo al otro. Fue impresionante cómo la absorción y la emisión se hicieron inmediatamente visibles y se pusieron a disposición del experimental: un sueño hecho realidad.

La combinación de una sola partícula atrapada y enfriada por la tecnología láser de precisión y del uso de saltos cuánticos para la medición finalmente llevó a materializar una frecuencia estándar definitiva en el dominio óptico. Dichos dispositivos son 100-1000 veces más precisos que los mejores relojes atómicos con frecuencias de microondas, y hoy en día están disponibles de manera habitual en la mayoría de laboratorios y pronto lo estarán también para uso comercial.

Desde el desarrollo de estas técnicas que se centraban en los relojes atómicos, a finales de los 80 y principios de los 90 no estaba del todo claro qué más se podría hacer con esa combinación única de técnicas. Por aquel entonces, intenté extrapolar los métodos y las técnicas a otros campos de la física y a las mediciones en general. En una conversación en 1990, mi amigo Bill Phillips (del NIST de Gaithersburg, premio nobel de 1997 por el enfriamiento láser) me hizo una pregunta muy simple: "¿Qué pasa cuando colocas un único ion atrapado en una onda estacionaria?" Para poder responder a esta pregunta, tuve que hacer algunas aproximaciones en mis cálculos. De todos modos, el resultado fue bastante interesante, ya que parecía posible enfriar mejor el ion atómico si estaba atrapado ahí que si lo estaba en una onda viajera.

Desde mi época de posdoctorado en Boulder, he tenido una estrecha colaboración con teóricos, en concreto con mi amigo y compañero Peter Zoller de la Universidad de Innsbruck. Me puse en contacto con él y le pedí consejo sobre cómo tratar este problema de manera más general. Si bien no tenía una respuesta inmediata, le traspasó la tarea a un joven estudiante invitado: Ignacio Cirac, de Física Teórica de la Universidad Complutense. Ignacio abordó el problema matemático e ideó una solución general y un formalismo elegante que proporcionaron la caja de herramientas para los muchos cálculos que hicimos entre 1990 y 1996. Con Ignacio Cirac y Peter Zoller establecimos los fundamentos teóricos que proporcionaron la base para el trabajo experimental de mi equipo en Innsbruck.

En una de nuestras frecuentes visitas a Peter Zoller (que entonces era profesor en la Universidad de Colorado, en Boulder), Peter, Ignacio y yo mismo asistimos a la Conferencia Internacional de Física Atómica (ICAP) en Boulder, donde por primera vez tuvimos noticia sobre el procesamiento cuántico de la información, en una ponencia de Artur Ekert (Oxford y Singapur). Ese año, Peter Shor (AT&T) ideó un algoritmo en el que demostró que el mítico problema de la factorización se podía resolver eficientemente gracias a una máquina cuántica que hiciera los cálculos. Descomponer números grandes en el producto de números primos es un problema difícil, y la base de los algoritmos de encriptación de hoy día. Así pues, si hubiera disponible un ordenador cuántico, la seguridad de todas las comunicaciones electrónicas podría estar en peligro: esto llamó mucho la atención. Dicha máquina cuántica (u ordenador cuántico) podría materializarse gracias a un análogo cuántico de la operación booleana XOR entre dos bits cuánticos (puerta CNOT) y algunas operaciones cuánticas en bits cuánticos individuales. Richard Feynman y David Deutsch ya habían debatido a mediados de los 80 las ideas previas sobre cómo resolver problemas cuánticos difíciles con un dispositivo cuántico, básicamente en conexión con simulaciones de procesos de mecánica cuántica. De todos modos, en aquel momento esa posibilidad se consideraba remota, ya que no existía un *hardware* capaz de dichas operaciones cuánticas.

Al enterarnos de este nuevo campo en 1994, nos dimos cuenta de inmediato de que los iones atómicos atrapados se podían utilizar como portadores de información cuántica, y de que la tecnología láser de precisión, antes usada en la metrología, se podía utilizar en operaciones cuánticas. Finalmente, Peter Zoller e Ignacio Cirac idearon en 1995 la primera propuesta realista y viable sobre cómo hacer operaciones cruciales de puertas cuánticas. Este fue un avance decisivo, y mi equipo y yo nos embarcamos de inmediato en implantar esta idea.

Así fue como, sobre 1994, empezó realmente lo que ahora conocemos como "información cuántica", y también la cruzada por conseguir un ordenador cuántico universal.

¿Qué es en realidad la información cuántica? Y ¿qué podemos hacer con ella?

Para ello, repasemos un momento qué sabemos sobre el procesamiento clásico de la información: el trocito más pequeño de información se llama "bit", que es la abreviatura en inglés para "dígito binario". Con esto, queremos decir que la información que contiene la posición de un interruptor está "arriba" o "abajo" o, según el lenguaje matemático

moderno, es simplemente un "cero" o un "uno". A la información compleja (como los mensajes de texto, los correos electrónicos, las imágenes o los mensajes de voz) se le puede asignar una cadena de estos ceros y unos. Partiendo de dicha cadena como *input*, el procesamiento clásico de la información funciona cambiando la cadena de acuerdo con las reglas de la programación, y finalmente se obtiene una cadena de salida, un *output*, de nuevo compuesta por ceros y unos y que contiene el resultado del procesamiento de esta información o de un cálculo.

El procesamiento de la información es la base de todo el tratamiento moderno de datos y de todos los ordenadores clásicos que tenemos hoy en día. Estos ordenadores clásicos han revolucionado nuestras vidas, nuestra industria y el mundo durante las últimas décadas. De todos modos, en los 80, Richard Feynman ya se dio cuenta de que teníamos algunos problemas, por ejemplo, con el cálculo de problemas de mecánica cuántica, que son muy difíciles de gestionar en ordenadores clásicos. El motivo de esto es la noción de la superposición en la mecánica cuántica: mientras que en el mundo clásico un interruptor solo puede estar en la posición de "arriba" o de "abajo", un interruptor cuántico (por ejemplo, un electrón en dos estados cuánticos de un átomo) puede estar en lo que llamamos "superposición". Esto significa que, antes de una medición, no solo no sabemos dónde está el electrón (si en el estado de "arriba" o en el de "abajo"), sino que también tenemos que asumir que el electrón está en ambos estados a la vez. De primeras, estas superposiciones nos resultan totalmente ilógicas. De cualquier manera, todos los experimentos que se han llevado a cabo a lo largo de los últimos 100 años establecen sin lugar a dudas que esto es verdad.

Matemáticamente, entendemos estas superposiciones al describir todos los fenómenos cuánticos en una imagen de onda. Entonces, realizar cálculos cuánticos en un ordenador clásico requiere que todas las superposiciones posibles se describan y almacenen en la memoria del ordenador. Para problemas complejos (como, por ejemplo, el cálculo de moléculas grandes y la simulación de procesos cuánticos), se necesita un tamaño de memoria y una potencia del ordenador que no está disponible en equipos clásicos. Así pues, Richard Feynman sugirió que se utilizaran directamente elementos cuánticos para construir el *hardware* cuántico para las simulaciones y los cálculos.

Entonces, con la propuesta de Ignacio Cirac y de Peter Zoller en 1995, por primera vez parecía realista pensar que se pudiera conseguir un ordenador cuántico. Aunque parecía

algo remoto y extraño, unos pocos equipos se embarcaron en este viaje hacia conseguir el dispositivo cuántico. De todos modos, se tardó unos siete años, hasta que nosotros y el equipo rival liderado por David Wineland (ganador del Nobel de 2012 por el control de átomos individuales), en el NIST de Boulder, fuimos capaces de lograr la operación de una puerta entre dos iones diferentes, ahora utilizados como bits cuánticos en un registro cuántico. Al mismo tiempo, surgió otra tecnología basada en los circuitos superconductores para la tecnología de ordenadores cuánticos. Desde entonces, se han sugerido y estudiado muchas otras plataformas como candidatas para un procesador cuántico de información. Hoy en día, hay unas cuatro o cinco tecnologías diferentes para esto, y las más prometedoras siguen siendo la tecnología de trampa de iones y la de circuitos superconductores.

¿Dónde nos encontramos ahora y qué se ha conseguido en los últimos quince años?

Después de los revolucionarios descubrimientos sobre las operaciones de puerta cuántica de principios de los 2000, lo primero en lo que se centró mi grupo, así como otros grupos de diferentes lugares del mundo, fue la investigación fundamental. En concreto, nos centramos en crear estados marcadamente no clásicos, que se pueden programar y conseguir de inmediato con un procesador cuántico. Estábamos muy entusiasmados con los estados no clásicos, porque con las operaciones cuánticas podíamos crear correlaciones cuánticas entre átomos separados, algo que conllevaría las consecuencias siguientes: cuando se mide el estado de un átomo en un lugar, inmediatamente se define y conoce el estado del átomo en el otro lugar. Albert Einstein, que señaló la posibilidad de este extraño comportamiento en su famoso artículo de 1935, llamó a este fenómeno "acción fantasmagórica a distancia". Erwin Schrödinger acuñó el término "entrelazamiento" para esta expresión, ya que el estado de un átomo en un lugar no se puede cambiar o medir sin afectar al átomo en el otro lugar: sus estados están intrincadamente entretejidos, o simplemente "entrelazados".

Detectar el entrelazamiento con fotones llevó unos 50 años, y los teóricos elaboraron posteriormente protocolos ingeniosos sobre cómo utilizar esta cualidad en la

comunicación cuántica. En un experimento trascendental, el equipo liderado por Anton Zeilinger (por aquel entonces, en Innsbruck) materializó la "teleportación cuántica", la transferencia de información cuántica con fotones, a finales de los 90. Basado en la escisión de un solo fotón en dos fotones correlacionados, este era un protocolo estocástico con una probabilidad de éxito relativamente baja.

De todos modos, con los procesadores cuánticos de información, por primera vez tuvimos la posibilidad de crear y manipular entrelazamientos entre lugares remotos con solo pulsar un botón. Esto nos permitió demostrar la teleportación cuántica con átomos, y pudimos demostrar que, con la metrología de átomos entrelazados, la ciencia de la medición se podía mejorar: conseguimos la metrología cuántica. Poco después, fuimos capaces de crear un pequeño ordenador cuántico, con un registro cuántico de 8 cúbits, que probó estar plenamente entrelazado: había nacido el primer *byte* cuántico. Con mejoras subsiguientes, demostramos que el sueño visionario de Feynman de realizar simulaciones cuánticas con una máquina cuántica era posible. En una colaboración con el equipo de Enrique Solano, de la Universidad del País Vasco, en Bilbao, simulamos la ecuación de Dirac, que describe el comportamiento relativista de las partículas cuánticas. Asimismo, con Enrique Solano, Jorge Casanova y Juanjo Garcia-Ripoll (del CSIC, en Madrid), simulamos la aparentemente paradójica dinámica relativista de las partículas cuánticas mediante nuestros dispositivos cuánticos. Esas pruebas hicieron uso de algunas de las características especiales disponibles gracias a nuestros sistemas cuánticos, y se llaman generalmente simulaciones análogas, ya que emulan el comportamiento de un sistema físico con las propiedades de nuestro dispositivo. Por otro lado, mediante el uso de más iones atrapados como bits cuánticos y un programa cuántico (posible al dirigir una secuencia de pulsos láser sobre los iones), fuimos capaces de simular la evolución dinámica de un sistema cuántico. Una simulación cuántica como esa implementa un algoritmo cuántico completo y es válida para cualquier problema, y permitió materializar un simulador cuántico universal gracias a la estrecha colaboración con el equipo de Peter Zoller en la Universidad de Innsbruck. De esta manera, a lo largo de la última década, se han realizado muchos más cálculos y muchas más simulaciones con los dos ordenadores cuánticos operativos en Innsbruck.

Una de las líneas de investigación más importantes de nuestro equipo era, y es, materializar la corrección cuántica de errores. Como cualquier otro ordenador, un ordenador cuántico puede cometer errores. Mientras que en un ordenador clásico los

errores son escasos y controlados rutinariamente por circuitos de corrección de errores, esto no es tan directo en el mundo cuántico. Los errores clásicos se dan cuando se lee un cero como un uno o se reconoce un uno como un cero. Esto se puede comprobar con redundancia, por ejemplo, al transferir tres veces el mismo valor (cero o uno). Si el receptor ve el valor solo dos veces, asume que ha ocurrido un error y, por mayoría, decide tomar el valor que ha aparecido dos veces. Esto no se puede hacer en el mundo cuántico, ya que copiar la información cuántica para codificarla de manera redundante requiere medir un bit cuántico primero, y eso destruiría cualquier superposición posible. Esto es lo que se conoce en física cuántica como el teorema de no clonación. Peter Shor y Andrew Steane entre otros, que propusieron utilizar el entrelazamiento de diversos bits cuánticos para crear la redundancia necesaria, señalaron una manera de evitar esto sobre 1995 o 1996. A través de un protocolo, fuimos capaces de demostrar que incluso los saltos cuánticos, por muy disruptivos que sean, se pueden deshacer mediante un protocolo de corrección cuántica de errores.

De cualquier manera, para un ordenador cuántico del futuro, que tendrá que trabajar con cientos y miles (incluso más) de bits cuánticos, la corrección cuántica de errores será necesaria, y la futura escalabilidad de los equipos cuánticos depende de que esta característica esté disponible. Para implementarla, mi equipo y yo decidimos buscar una manera optimizada de almacenar la información cuántica en una serie de bits cuánticos físicos (en nuestro caso, una serie de iones atrapados) para proporcionar la redundancia necesaria para un bit cuántico lógico. Gracias a una ingeniosa secuencia de mediciones, se puede descubrir si, y dónde, ha ocurrido un error en este registro. Al saber esto, finalmente se puede deshacer el error y preservar la información cuántica en ese cúbit lógico durante más tiempo del que se podría preservar si hubiera ruido o errores. Mi amigo y compañero Miguel Ángel Martín-Delgado, junto con el estudiante Héctor Bombín, diseñó aquí, en la Universidad Complutense, una manera muy inteligente y elegante de codificar ese bit cuántico lógico: ya por 2006 estuvieron trabajando en los detalles. Una colaboración muy estrecha con Miguel Ángel y el investigador de posdoctorado Markus Müller nos permitió, por primera vez, codificar un cúbit lógico en un conjunto de siete bits cuánticos en una trampa de iones en 2014. Las maravillosas propiedades de este "código de color" nos permitieron, incluso, materializar una serie de operaciones cuánticas en el cúbit lógico. La estrecha colaboración con el Departamento de Física Teórica de la Universidad Complutense (con Miguel Ángel Martín-Delgado y Alejandro Bermúdez)

continúa hoy en día y estamos actualmente de camino a conseguir uno de mis sueños: el cúbit vivo codificado, es decir, un bit cuántico que se mantiene "vivo" durante todo el cálculo. Una vez se consiga, esta será la base para la futura escalabilidad de los ordenadores cuánticos.

¿Hacia dónde vamos y qué se puede esperar del procesamiento cuántico de la información?

Si bien el procesamiento cuántico de la información se consideraba una posibilidad remota en los 90, ha madurado mucho durante las últimas dos décadas y media: ahora es una línea de investigación importantísima de la física y falta poco para que se comercialice. Ya se puede comprar tiempo de cálculo cuántico y están en marcha varias iniciativas alrededor del mundo para implementar más y más la tecnología cuántica. Durante la última década, nos hemos dado cuenta de que la tecnología cuántica ofrece más ventajas de las que en principio creíamos.

Aunque antes era una mera curiosidad, el entrelazamiento se ha convertido en una entidad propia, algo que ahora puede utilizarse como recurso. Demostrado inicialmente con los fotones, su aplicación en la comunicación cuántica está bastante avanzada y ya hay dispositivos cuánticos disponibles a nivel comercial que hacen uso de procedimientos cuánticos específicos, lo que se conoce como protocolos. Son intrínsecamente más seguros que sus homólogos clásicos, y permiten conectar dispositivos cuánticos entre sí. Para ello, es necesario retransmitir información cuántica a través de largas distancias. Así pues, el desarrollo de dispositivos de recepción y transmisión de información cuántica (conocidos como repetidores cuánticos) es actualmente una prioridad: muchos laboratorios de todo el mundo están trabajando en eso.

Como hemos demostrado (nosotros y muchos otros), los protocolos cuánticos pueden mejorar, y mejorarán, las mediciones de precisión más allá de lo posible con métodos clásicos. Actualmente, esto aún parece remoto, pero en mi opinión estas tecnologías revolucionarán nuestra capacidad de medición en años venideros. Las empresas y los laboratorios nacionales de referencia admiten estas posibilidades y, por ende, tanto la comunicación cuántica como la metrología cuántica están muy cerca de aplicarse y comercializarse. Un poco más alejadas están las oportunidades que brindan las simulaciones cuánticas. De cualquier manera, con unos años más de desarrollo, las simulaciones cuánticas serán el primer reino, aquel donde los dispositivos cuánticos

sobrepasarán claramente la capacidad de los simuladores clásicos. Sus aplicaciones son de amplio espectro, desde problemas científicos en la física del estado sólido y en la física de altas energías a la ciencia de la química cuántica o de los materiales. En cualquier caso, el Santo Grial es el ordenador cuántico universal a gran escala: en el mundo ya hay algunos pequeños sistemas de este ordenador en operativo. Actualmente, los registros consisten en algunas decenas de bits cuánticos, con unos pocos centenares de operaciones de puerta cuántica como mucho, y sin la corrección cuántica de errores implementada. Se están haciendo grandes esfuerzos en el mundo (parece incluso una carrera) para materializar el ordenador cuántico a gran escala, basado en gran parte en las plataformas de superconductores y trampas de iones. De hecho, se le está dando bastante bombo a esto, con grandes jugadores a la cabeza y muchas *start-ups* que tratan de ponerse al día y conseguir un pedazo del pastel.

Hace tan solo unos meses, Google, en Santa Barbara, anunció que ha conseguido lo que John Preskill, de Caltech, llamó "supremacía cuántica". Con esta expresión quieren destacar la superioridad de los ordenadores cuánticos sobre los ordenadores clásicos. Si bien el logro científico del equipo de Google es impresionante y tendría que elogiarse como el hito experimental que es, a mí personalmente no me gusta la noción de "supremacía", ya que también evoca a los "supremacistas blancos" o a los racistas y demás... Además, insinúa que no hay ninguna otra tecnología que pueda ser "más suprema". Así pues, les aconsejo a ustedes, así como a mis compañeros, no utilizar esta terminología y más bien utilizar la de "ventaja cuántica", porque eso es precisamente lo que estamos consiguiendo. Y ni siquiera hoy podemos empezar a comprender las capacidades potenciales de la tecnología cuántica.

En su experimento, el equipo de Google ha implementado un método de cálculo que en un ordenador clásico tardaría mucho más: sin duda representa un resultado histórico. Por otro lado, el algoritmo que han implementado es una secuencia artificial y complicada de circuitos aleatorios y solo es útil para demostrar que ciertamente los dispositivos cuánticos tienen ventaja sobre los dispositivos de cálculo clásicos. En todo caso, esto representa un paso importante en el camino hacia procesar números con dispositivos cuánticos.

Los políticos europeos también se han dado cuenta (por fin...) de la importancia de la tecnología cuántica, y la Unión Europea ha fundado Quantum Technology Flagship

(literalmente, el Buque Insignia de Tecnología Cuántica), que empezó en otoño de 2018 con un programa de diez años y una inversión de 1000 millones de euros hasta 2028. Por ahora, la primera fase de este programa se está implementando y persigue los cuatro pilares que he mencionado: comunicación cuántica, metrología cuántica, simulación cuántica y computación cuántica. De todos modos, hay que tener en cuenta que esta es una inversión para llevar la tecnología cuántica (que actualmente existe básicamente en las instituciones académicas) a la industria y para ponerla a disposición de la sociedad. La investigación básica, como la conocemos tradicionalmente, necesita algo de financiación adicional por parte de los Estados miembros. Europa ya va rezagada: necesitamos fomentar más lo que podemos hacer en nuestras instituciones académicas. Muchas de las investigaciones básicas en tecnología cuántica, por no decir la mayoría, se originaron en Europa. Intentemos seguir utilizando el mundo cuántico en pro de la humanidad.

En este contexto, las universidades en Europa y en el mundo tendrán que someterse a un cambio en la enseñanza de la física. La física como el área de investigación básica definitiva a menudo se ve como algo opuesto a la ingeniería, que es mucho más preciada por ser una ciencia aplicada. Como resultado, básicamente educamos a físicos que apenas saben nada sobre ingeniería y a ingenieros que no tienen la más remota idea sobre física cuántica. Es necesario cambiar este patrón: algunas universidades ya están implementando planes de estudio bajo el concepto de "Ingeniería Cuántica", que combina lo mejor de ambos mundos para sentar las bases de la utilización y la aplicación generalizadas de la ciencia cuántica y la tecnología cuántica. El siglo XVIII fue el siglo de la mecánica; el siglo XIX, el de la termodinámica; y el siglo XX fue el de la electrodinámica y la informática. Creo que el siglo XXI será el siglo de la mecánica cuántica y de la tecnología cuántica.

La Universidad Complutense ha tenido una gran implicación en estos esfuerzos, así que sigamos con nuestros intentos de acercar el mundo cuántico al mundo clásico para poder entender mejor cómo el mundo clásico emerge del mundo cuántico. Es un viaje fantástico: unamos nuestras fuerzas y utilicemos las herramientas cuánticas para conseguir un mundo mejor.

Muchas gracias por este gran honor, y los mejores deseos para un gran futuro cuántico.