

**DISCURSO DE CONTESTACIÓN**

**POR EL**

**Ilmo. Sr. D. JUAN BARTOLOMÉ SANJOAQUÍN**



Excmo. Sr. Presidente

Ilmas. Autoridades

Ilmas. Sras. y Srs. Académicos

Señoras y Señores

La primera impresión que tuve de Fernando Luis fue de brillantez, como alumno de Termodinámica y Física Estadística. Manifestó una atención, curiosidad y capacidad crítica por los temas de la asignatura más allá de la media. Esta actitud me incitó a invitarle como alumno a participar en una estancia compartida en el verano de 1991 en el Laboratorio Luis Neel, de Grenoble, en Francia, donde participó en la ejecución de experimentos sobre materiales imanes permanentes hidrogenados. Mostró entonces tenacidad, capacidad de trabajo y gusto por la investigación experimental. Todo ello condujo a su decisión de seguir una carrera científica al acabar la Licenciatura de Ciencias Físicas brillantemente en 1992. Realizó su Tesis Doctoral entre 1993–1997, bajo mi dirección, sobre “*Estudio experimental del efecto túnel cuántico en materiales magnéticos*”. En ese periodo pude conocer también su capacidad teórica, apoyado por el Prof. Dr. Julio Fernández, que llevó a aportaciones fundamentales en el descubrimiento y explicación teórica del fenómeno del efecto cuántico magnético en partículas mesoscópicas, lo que supuso un hito importante en Magnetismo, y que le valió el Premio Extraordinario de Doctorado de la Universidad de Zaragoza 1999. De hecho, el descubrimiento del efecto túnel resonante en  $Mn_{12}$ , realizado simultáneamente a otros dos grupos (J. R. Friedman *et al*, *Phys. Rev. Lett.* 76, 3830 (1996) y L. Thomas *et al*, *Nature*, 383, 145 (1996)) fue considerado como noticia científica destacada por la revista *Physics Today*, y también por la revista *Science*.

Concluida su Tesis Doctoral, llevó a cabo una estancia postdoctoral como investigador Marie-Curie durante dos años y medio en el Laboratorio Kamerlingh Onnes de la Universidad de Leiden, en Holanda, bajo la supervisión del Dr. Jos de Jongh, en el estudio de fenómenos magnéticos cuánticos en moléculas. A su regreso en el año 2000 se incorporó a nuestro equipo de investigación del ICMA, en el que investigábamos las novedosas nuevas propiedades magnéticas que surgían de materiales convencionales al reducir su tamaño a escalas nanométricas. Durante este periodo de su carrera científica tuvo la oportunidad de hacer numerosos viajes de trabajo a grandes instalaciones de haces de neutrones, como el ILL de Grenoble o el ISIS de Didcot, en Gran Bretaña, y de Conferencias y Congresos, con frecuencia invitado a dar una conferencia o seminario de las aportaciones del Laboratorio al Magnetismo de Nanopartículas.

A partir de 2003 ganó por brillante oposición la plaza de Científico Titular del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Institución en la que ha desarrollado su carrera científica en Zaragoza. En 2008 fue promovido a Investigador y en 2020 a Profesor de Investigación.

En el ICMA en Zaragoza se hizo cargo de la instalación y operación de varios refrigeradores de dilución de  $3\text{He}/4\text{He}$  en el laboratorio de muy bajas temperaturas, llevando ya su propia agenda científica. Ha formado un grupo de investigación propio en el que se ha ido desarrollando el tema de propiedades cuánticas de nanomateriales tales como son nanopartículas, nanohilos y moléculas, a temperaturas cercanas al cero absoluto. En la actualidad su tema fundamental es el de la posible utilización de materiales moleculares magnéticos en su aplicación en el ordenador cuántico híbrido con dispositivos superconductores. Es evidente que su formación experimental y teórica le han permitido ser un científico reconocido internacionalmente, como es el hecho de estar continuamente financiado por proyectos de la Unión Europea. En la actualidad tiene activo el proyecto “*FAult Tolerant MOlecular Spin processor*” (FATMOLS) del que es coordinador.

Sin embargo no podemos dejar de lado su compromiso con la sociedad: en docencia, impartiendo cursos de Máster e impartiendo numerosas conferencias a todos los niveles, como director de seis tesis doctorales, dos de las cuales merecieron el Premio Extraordinario de Doctorado y una tercera el premio del *European Institute of Molecular Magnetism*. Lleva a cabo una actividad de divulgación extraordinaria en todos los medios y ocasiones, por citar uno, “*Computación Cuántica con moléculas magnéticas*” que en 2017 recibió el premio al “*mejor artículo de divulgación*” de la Fundación RSEF-BBVA. Ha sido miembro organizador y vocal de numerosos Congresos Científicos nacionales e internacionales y ha asumido con generosidad en tiempo y esfuerzo diversos cargos de gestión de la Investigación. Por citar aquellos en que está activo en la actualidad, es Coordinador del pilar de “*Computación Cuántica*” de la Plataforma Interdisciplinar del CSIC dedicada a “*Tecnologías Cuánticas*” desde 2019 y Coordinador de la sub-área Física y sus Aplicaciones (FyA) de la Agencia Estatal de Investigación (AEI) desde 2021.

Su labor científica fue reconocida por La Real Academia de Ciencias de Zaragoza al concederle el Premio Bienal, Sección de Física en 2010, por su trabajo sobre Magnetismo Molecular.

Una de las posibles aplicaciones de la computación cuántica, mencionada en el Discurso del Dr. Fernando Luis es el Criptoanálisis. Ya desde la antigüedad se ha utilizado la encriptación de mensajes en la política y la milicia. En el siglo V a. C. se utilizaba

un cilindro sobre el que se arrollaba el mensaje a encriptar o desencriptar. Los griegos y romanos utilizaron matrices de equivalencias alfanumérica. Los ejércitos españoles de Felipe II utilizaban un código de cifra con varios cientos de símbolos, considerado como absolutamente seguro. Sin embargo el matemático François Viète desencriptó el código dándole ventaja a Enrique IV de Francia.

En 1918 Arthur Scherbius patentó en Alemania una máquina basada en rotores cableados para encriptar y desencriptar mensajes cifrados. Está basada en el uso de ruedas dentadas y fue una de las primeras máquinas de su clase. La expansión de las telecomunicaciones aumentó la necesidad de crear métodos de cifrado automatizados para sustituir los antiguos métodos manuales. En un principio ni el Ministerio de Exteriores alemán, ni el ejército se interesó por la máquina inventada por Scherbius y este vendió los derechos a las patentes a la empresa *Chiffriermaschinen-AG* que durante los años 20 se dedicó a comercializar la máquina. Sin embargo, acabó siendo adoptada por la Marina alemana. En la máquina más avanzada el número de combinaciones posibles llegó a ser de  $3,1 \times 10^{25}$  en la máquina *Enigma*. Aquí enlaza esta historia con nuestro tema. En Inglaterra se propusieron que el tiempo de desciframiento de los mensajes de *Enigma* fuera menor que un día. Para ello se planteó la utilización de métodos electromecánicos para la prueba y error de combinaciones. El matemático Alan Turing publicó en 1936 las bases matemáticas necesarias para crear una máquina capaz de analizar el “problema de la decisión” o “*Entscheidungsproblem*”, o si existe un algoritmo general que decidiese si una fórmula del cálculo de primer orden es un **teorema**, esto es, demostrable. Resuelto por Alonzo Church y Alan Turing independientemente, demostraron ambos que es imposible escribir tal algoritmo. La máquina propuesta o máquina de Turing, consiste en un dispositivo programable capaz de leer y escribir, hoy llamado cabezal, y una cinta infinita que interacciona con el dispositivo. Dicha cinta está subdividida en cuadraditos, donde el cabezal puede leer, borrar o grabar un símbolo. El número de símbolos tiene que ser finito. Dicha cinta actúa de memoria y puede avanzar o retroceder respecto del cabezal o pararse. Tal máquina es la base de todas las computadoras digitales en las que los símbolos son el “0” y el “1”. La primera máquina construida fue la Bombe que inició la posibilidad de desencriptación de los mensajes del adversario en un tiempo útil.

La tesis de Church-Turing se puede enunciar como que “*cualquier sistema físico puede simularse perfectamente con un modelo universal de máquina funcionando con medios finitos*”. La Física Clásica y la máquina universal de Turing no obedecen este principio de forma rigurosa, ya que la primera es continua y la segunda es discreta. David Deutsch

en 1985 propuso una alternativa que en principio si cumplía rigurosamente el principio de Church-Turing, el denominado “*computador cuántico universal*”. Se asemeja a la máquina de Turing salvo que en la cinta infinita el elemento individual, denominado “*qubit*”, puede adquirir estados cuánticos combinación lineal del estado 0 y del 1. Esta característica cuántica del estado del qubit le permite al computador cuántico universal satisfacer por completo el principio de Church-Turing, denominándose este resultado como Tesis de Deutsch-Church-Turing. Y de esta condición necesaria se deriva el interés del tema de investigación del Dr. Luis que propone que dicho qubit sea una molécula magnética con tiempo de relajación mucho mayor que el de interacción con el dispositivo auxiliar que actúe como cabezal.

Las moléculas magnéticas han sido objeto de estudio por nuestro laboratorio desde sus principios en los años 70 del pasado siglo. Cual no fue nuestra sorpresa y excitación al participar en el descubrimiento del efecto tunel magnético resonante, en primer lugar, y del tunel magnético adiabático en la molécula de acetato de  $Mn_{12}$ , posteriormente. Evidentemente se reavivó nuestro interés por dichas moléculas. Como anécdota mencionaré que la muestra en la que el Dr. Luis observó la resonancia activada térmicamente fue proporcionada por el Dr. Tejada, de la Universidad de Barcelona, y fue medida a intempestivas horas de la noche. Esa noche cambió por completo el tema de tesis y me atrevo a decir que también la vida científica del Dr. Luis. Este hito ha sido considerado como uno de los hitos fundamentales del Magnetismo. Merece la pena glosar su pequeña historia. A principios de los años 90 del pasado siglo la Dra. Sessoli de Florencia encontró una molécula, la  $Mn_{12}$  acetato, que presentaba biestabilidad a baja temperatura. En un monocristal estas moléculas eran idénticas, lo que propiciaba su estudio magnético. Ente 1995 y 1996 dos equipos independiente, por una parte en Nueva York, Barcelona y Zaragoza, y por otra parte en Florencia y Grenoble demostraron experimentalmente la presencia de saltos en los ciclos de histéresis y en la susceptibilidad magnética, clave de la presencia de procesos de túnel cuántico en un objeto mesoscópico. Es el comienzo de una carrera científica para la acotación del fenómeno, la búsqueda de nuevas moléculas y como dice el Profeso Tejada en el primer capítulo del libro editado por Bartolomé, Luis y Fernández sobre Magnetismo Molecular, Física y Aplicaciones “*en mi opinión la investigación en imanes moleculares dependerá de si encuentran aplicaciones*”.

Aquí nos encontramos 25 años después, muy cerca de una aplicación insospechada entonces, el imán molecular como qubit en un computador cuántico. Sin embargo, puede parecer contradictorio el hecho de conectar el descubrimiento del efecto cuántico magnéti-

co, que explica la existencia de transiciones muy rápidas por efecto túnel, con la condición de un qubit de tener un tiempo de relajación largo. En efecto, son dos condiciones antagónicas, cuya comprensión es precisa para evitar el primero y exaltar el segundo. Miles de compuestos después, en la disertación del Dr. Luis se nos da una información pormenorizada de las mejores moléculas magnéticas candidatas como qbits y su motivación como óptimos qubits frente a otros candidatos.

La utilización de estas moléculas como qubits, la necesidad de su aislamiento respecto a su entorno, y sin embargo, poder estar entrelazadas cuánticamente, conlleva a ser capaces de reducir el ruido térmico a su mínima expresión. Esto solamente se puede lograr mediante la utilización de muy bajas temperaturas, por lo general, por debajo de un Kelvin. Al unirse el Dr. Luis al grupo de Bajas Temperaturas ya se disponía de algunos equipos operativos en dicho rango de temperatura. Sin embargo las exigentes condiciones de estabilidad en temperaturas y la utilización de sensores ultrasensibles como el SQUID obligó al entonces becario Marie Curie a desarrollar e instalar en nuestro laboratorio nuevos equipos de refrigeración de dilución  $3\text{He}/4\text{He}$  y técnicas originales. Quiero mencionar aquí el desarrollo de un microSQUID basado en una sonda metrológica, que fue transformada con la técnica de fusión local con haz laser, de dispositivo de cero a sonda magnética. Permitió la medida de muestras extraordinariamente pequeñas en rangos de frecuencia inalcanzables hasta ese momento. Lo cierto es que en la actualidad el Dr. Luis ha instalado un equipo de medida de resonancias magnéticas operativo a muy bajas temperaturas y que no necesita Helio líquido para su operación. Pero sus resultados los reservaremos para el siguiente premio que recibirá sin duda el Dr. Luis en el futuro.

No puedo dejar de mencionar los recientes premios Nobel de Física de 2022 a los Drs. Alain Aspect, John F. Clauser y Anton Zeilinger, cuyos experimentos con fotones entrelazados, establecieron la violación de las desigualdades de Bell y han sido pioneros en la ciencia de la información cuántica. La actividad científica del Dr. Luis forma parte de esta nueva disciplina científica que ha sido reconocida por la Academia de Ciencias sueca este año.

La personalidad del Fernando es singular, de gran altura científica y brillantez. He sido testigo de su progresión como persona, profesor universitario y sobre todo científico. Es el caso en que el maestro se siente totalmente satisfecho por los logros de un alumno, que ha recogido el testigo y le ha adelantado en todos los temas propuestos. La Real Academia de Ciencias de Zaragoza ya reconoció en 2010 la valía del Dr. Luis como joven

investigador concediéndole el Premio Bienal de Física. En esta ocasión, en nombre de todos los miembros de la Academia y en el mío propio, doy la bienvenida en la Academia a Fernando, con la seguridad de que su paso por ella será feraz.

Muchas gracias.