

DISCURSO DE CONTESTACIÓN

POR EL

Ilmo. Sr. D. VÍCTOR MANUEL ORERA CLEMENTE

Señor Presidente

Señoras y señores académicos

Señoras y señores:

Con enorme satisfacción, cumplo con la misión encomendada por la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas, Químicas y Naturales de Zaragoza de contestar al discurso de ingreso del Profesor Doctor D. Rafael Navarro Linares. En primer lugar, quiero resaltar que conozco al Profesor Navarro desde hace más de 40 años, toda una vida. Fuimos compañeros de curso a lo largo de toda la licenciatura de Físicas en la Universidad de Zaragoza, y desde entonces hemos sido colegas, primero en el departamento de Física Fundamental y luego en el Instituto de Ciencia de Materiales de Aragón, centro mixto de la Universidad de Zaragoza y del CSIC. Además de esta intensa relación profesional hemos gozado de una mutua, intensa y sincera amistad dilatada a lo largo de todo este periodo de tiempo.

En Rafael Navarro debo destacar sus excepcionales cualidades humanas y profesionales. Profesionalmente he admirado siempre su singular capacidad para la comprensión de los aspectos más abstractos de la Física, he envidiado su enorme rapidez para la asimilación de conceptos de alta complejidad y su incomparable inteligencia para la matemática y la perspectiva geométrica. Desde un punto de vista humano me gustaría destacar su bonhomía que complementa y parcialmente suaviza un carácter fuerte y decidido, fruto de sus hondas y firmes convicciones, unido a una tenacidad propia de la dura tierra en que nació. Pues en efecto, Rafael Navarro vino al mundo en Teruel, el 1 de mayo de 1950. Decidió ver la luz el Día del Trabajo, como augurio de lo que sería su principal objetivo el resto de su vida. Cursó sus estudios de Bachillerato en Teruel. Desconozco las circunstancias sociales y/o astrales que acaecieron en aquella época en Teruel, pero de aquel Instituto y en aquella época, a caballo entre los años sesenta y setenta del pasado siglo, emergieron lo que con los años serían personalidades de la ciencia, la cultura, e incluso de las finanzas y del periodismo.

En el año 1967 Rafael Navarro se trasladó a Zaragoza para seguir la Licenciatura de Ciencias Físicas. También puedo asegurar como testigo y como participante activo, que aquel curso en particular, y aquellos años en general fueron muy singulares. Admítanme unos breves comentarios que pretenden ilustrar las diferencias entre nuestra Facultad a finales de los sesenta y tal como es ahora. En aquella época, la Facultad hervía en inquietudes precursoras del gran cambio político y social que iba a desarrollarse en España en los años

siguientes. Aunque los estudios universitarios se habían abierto a casi todos los estratos sociales, no sufría aún la masificación que llegaría posteriormente. El claustro de profesores tenía una curva de edad completamente bimodal, coexistiendo profesores muy mayores, formados en la época de total aislamiento de la dictadura pero con el gran mérito de lograr que la llama de la ciencia no se extinguiera en nuestro país, con un pequeño, pero enormemente entusiasta grupo de jóvenes científicos formados en el extranjero.

Nuestra Facultad de Ciencias de Zaragoza era lugar de referencia al que acudían estudiantes de toda la geografía española, con una enorme vocación por el conocimiento en su sentido más amplio. Todo se discutía, nada se daba por establecido. La precariedad de los medios se suplía con grandes dosis de entusiasmo y voluntarismo por parte del profesorado y también del alumnado.

Rafael Navarro era, indiscutiblemente, el alumno más brillante de nuestro curso y uno de sus líderes ideológicos. Su excepcional capacidad de análisis le capacitaba para entender los conceptos más enrevesados de la física, lo que habría resultado enojoso para el resto de sus compañeros, si no hubiera estado acompañada de su carácter sencillo y abierto. Siempre era el primero en comprender cosas tan enrevesadas como los espacios de Hilbert, o la física de los procesos irreversibles, tormento de generaciones de alumnos de esta Facultad. Me atrevería a decir, que a veces, las comprendía mejor que los propios profesores, porque Rafael no se aprendía los conceptos sino que los entendía. Curiosamente, Rafael también era capaz de analizar con la misma rapidez, lucidez y contundencia, los intrincados aspectos sociopolíticos de aquel momento. Nos licenciemos en 1972 y Rafael obtuvo el Premio Extraordinario de Licenciatura, el Accésit al Premio Nacional Fin de Carrera y el Víctor de Bronce al mérito profesional.

A la vez que realizaba el servicio militar obligatorio y dirigido por el Prof. Domingo González Álvarez, comenzó en 1973 su actividad investigadora en el Departamento de Física Fundamental. Se casó con Eugenia, desde entonces su inseparable compañera, y se trasladó becado inicialmente por la Fundación *Juan March* (1974-75) y posteriormente como colaborador científico (1975-76) a realizar su tesis doctoral en el Kamerlingh Onnes Laboratorium de Leiden (Holanda). La tesis con el título para mí algo paradójico de “Modelos Magnéticos simples” y lo digo por lo de simples, realizada bajo la dirección del Dr. L. J. de Jongh, fue defendida en la Universidad de Zaragoza en 1976, obteniendo la calificación de Sobresaliente "cum laude" y el Premio Extraordinario de Doctorado. En Leiden Rafael no solo completó su formación en magnetismo, sino que allí nació Salvador su único hijo, que continúa con gran brillantez la saga científica del padre en el campo de la física de fluidos.

Ya doctor, se incorporó como profesor Adjunto interino en el Departamento de Física Fundamental de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza, permaneciendo en él hasta 1978, fecha en que pasó a ser profesor Agregado interino del Departamento de Física de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (ETSII). Desde entonces, ha seguido vinculado a la ETSII y más tarde al Centro Politécnico Superior (CPS), primero como Profesor Adjunto (1981), y posteriormente como Profesor Agregado (1984) y Catedrático (1984) del Departamento de Ciencia de Materiales y Fluidos. Desde el primer momento de su incorporación a la Escuela, Rafael Navarro se esforzó en reconducir su investigación hacia aspectos más aplicados, en concordancia con las labores propias de una Escuela de Ingenieros. Ello le supuso un gran reto científico y académico, ya que debió adecuar su formación, eminentemente teórica, a los aspectos más prácticos y tecnológicos de la Ciencia de Materiales.

Su innata sensibilidad por los aspectos sociales de la Universidad, unida a una enorme vocación de servicio, le llevaron a involucrarse activamente en las labores de gestión y dirección de una Escuela que en aquel momento se encontraba en su infancia. Rafael ha trabajado en prácticamente toda la escala de puestos de gestión de la Escuela, entre los que destacan, sus 5 años de Director, los 11 de Director del Departamento de Ciencia y Tecnología de Materiales y Fluidos y los 4 como Director del Departamento de Física-ETSII. En puestos de gestión de la Universidad hacemos notar, sus 2 años de Presidente de la Comisión Académica del Consejo Social, los 5 de Representante del profesorado y otros 5 como Representante de Decanos y directores de Centro en Junta o Consejo de Gobierno de la Universidad de Zaragoza. En el intermedio aún tuvo tiempo de hacer una estancia de un año Sabático en Los Alamos (New Mexico-USA) dedicado plenamente a la investigación. En todos estos puestos dejó impronta de su capacidad y eficiencia.

Porque, en efecto, Rafael Navarro ha sido una de las personas que más han contribuido al desarrollo de las disciplinas tecnológicas en Aragón. En 30 años, el CPS ha pasado de la nada a ser uno de los más prestigiosos centros españoles de Ingeniería. Además, este centro ha sido un factor primordial en la enorme transformación sufrida por la economía aragonesa, economía que ha evolucionado en estos últimos años, desde una actividad eminentemente agropecuaria, a otra fundamentalmente industrial y con una elevada capacidad de innovación.

Los méritos científicos y académicos del profesor Rafael Navarro, justifican plenamente su elección como académico numerario de esta institución. Durante estos más de 35 años de actividad académica e investigadora, Rafael Navarro ha realizado contribuciones relevantes en los campos de las Propiedades magnéticas, eléctricas y térmicas de materiales,

en la Metrología eléctrica y en la Superconductividad y materiales superconductores de alta temperatura crítica, abarcando aspectos tanto teóricos como experimentales y aplicados. Asimismo, ha participado en numerosos comités científicos nacionales e internacionales. Su actividad viene avalada por cinco sexenios de investigación evaluados positivamente. Actualmente pertenece al Instituto de Ciencia de Materiales de Aragón en el que coordina desde hace 18 años el Grupo de investigación en Superconductividad y es miembro de la Real Sociedad Española de Física.

El discurso con el que hoy nos ha deleitado, es un claro ejemplo de la inigualable capacidad científica del profesor Navarro. En él, el beneficiario ha logrado compaginar de forma magistral la profundidad del análisis conceptual, con la amenidad de la exposición, utilizando para ello como hilo conductor, la evolución histórica de los descubrimientos en el campo de la superconductividad. Este trabajo supone una completísima revisión de la superconductividad, que abarca desde el trabajo pionero de Kamerling Onnes en el Hg sólido en 1911, hasta el descubrimiento ocurrido hace menos de un año de una nueva familia de superconductores de alta temperatura, la de los oxi-arseniuros de hierro.

Sabemos que la superconductividad, es un fenómeno que ocurre en algunos materiales a baja temperatura, y que se caracteriza fundamentalmente por dos propiedades macroscópicas, resistividad cero para pequeñas corrientes eléctricas en ausencia de campo magnético aplicado, y exclusión de todo tipo de campos magnéticos tanto estáticos como alternos del interior del material. La ausencia de resistividad, permite que la corriente eléctrica persista indefinidamente (con una vida media teórica mayor que la del universo), en una espira de material superconductor. Este efecto está siendo aplicado en las bobinas de NbTi, utilizadas en los equipos de resonancia magnética de uso clínico y en los grandes aceleradores de partículas. La expulsión del campo magnético da lugar al fenómeno de la levitación, conocido por su aplicación en trenes de alta velocidad.

Permítanme sin embargo atraer su atención hacia dos aspectos de la superconductividad, que a mi modo de ver son relevantes. Por un lado, tenemos la extrema complejidad y riqueza fenomenológica, lo que obliga a un tratamiento interdisciplinar para su comprensión. Pongamos algunos ejemplos de esta complejidad. Efectivamente, el carácter universal y macroscópico de algunas de sus propiedades, sugiere una interpretación termodinámica de las mismas. Ello ha permitido describir la transición de fase normal-superconductor como de primer orden, en el caso de los superconductores tipo I con efecto Meissner ideal, y de segundo orden en el caso de los superconductores tipo II, en los que aparece el estado mixto de la red de líneas de flujo. Sin embargo, la aparición de una red de

líneas de flujo debe interpretarse como una consecuencia de la cuantificación del flujo magnético, es decir mediante un efecto cuántico macroscópico. La interpretación se complica aun más ya que, el movimiento de la red de líneas de flujo produce pérdidas, y para evitarlas es necesario anclar dichas líneas mediante defectos. De ahí la importante contribución de la Física de defectos, tanto puntuales como extensos, a la comprensión y aplicación de los superconductores tipo II.

Siendo un fenómeno íntimamente asociado al magnetismo, una gran parte de la fenomenología eléctrica y magnética de la superconductividad, pudo ser interpretada a partir de la teoría electromagnética de los hermanos London. La posterior introducción del concepto de coherencia cuántica de Ginzburg y Landau, y de longitud de coherencia de Pippard, permitieron una completa descripción fenomenológica de la superconductividad. No obstante, a pesar del éxito de las teorías fenomenológicas, la interpretación microscópica de la superconductividad requiere del tratamiento mecano-cuántico tal como hace la teoría BCS.

Me gustaría destacar otra característica de la superconductividad, su carácter indómito. En efecto, la superconductividad parece resistirse tozudamente a ser entendida y dominada. Un ejemplo paradigmático de lo dicho es el fugaz reinado de la teoría BCS, que pareció dejar definitivamente cerrada la interpretación microscópica del fenómeno a finales de los años cincuenta. En efecto, el descubrimiento de la correlación cuántica entre pares de Cooper, base de la teoría BCS, constituye una de las páginas más brillantes de la física teórica. Se dice, que el desarrollo matemático de la teoría se le ocurrió a John Schrieffer durante un viaje en el metro de Nueva York. Schrieffer era a la sazón un alumno del MIT recién contratado por John Bardeen, en Urbana, como asistente. Bardeen acababa de recibir el Nobel de Física por la construcción del primer transistor. Tuve la oportunidad de asistir a una conferencia de Schrieffer en la Solid State Division del Oak Ridge National Laboratory en el año 1978. Aun recuerdo como explicó de forma magistral, el concepto de la correlación entre los pares de electrones, mediante el sencillo ejemplo de un grupo de niños corriendo por un campo lleno de agujeros. Si los niños están sujetos a una barra no se caerán, y se desplazarán con mucha más soltura que si están separados. También me sorprendió su carácter tremendamente activo e inquieto. De hecho su biografía está plagada de continuos cambios de lugar de trabajo. Es probable que esa misma inquietud contribuyera a los desgraciados sucesos que marcaron después su vida.

Pues bien, la teoría BCS era tan redonda, tan perfecta, y explicaba de forma tan completa la fenomenología conocida, que después de su definitivo establecimiento, el interés por la superconductividad entró en una fase de clara decadencia, debido en parte a la

dificultad predicha por la teoría de poder conseguir superconductores con una T_c superior a 30 K. Sin embargo, en 1986, J. George Bednorz y K. Alex Müller publican en el *Zeitschrift für Physik* su memorable artículo, “Possible high T_c superconductivity in the Ba-La-Cu-O system”, trabajo por el que recibirían el Nobel al año siguiente, hecho sin parangón en la dilatada historia de estos premios. Este artículo revolucionó completamente el mundo de la superconductividad en particular y de la ciencia en general. La existencia de superconductividad en materiales no metálicos, puso en solfa a la teoría BCS. Además, a partir del descubrimiento de estos Superconductores de Alta Temperatura, SAT, enseguida se consiguieron vertiginosos incrementos de la temperaturas críticas, que hoy por hoy llegan a alcanzar los 133 K a presión atmosférica. Este impresionante desarrollo, provocó un enorme y renovado interés por la superconductividad no solo por parte de la comunidad científica, sino también de los poderes públicos y del entramado industrial. En pocos años se publicaron decenas de miles de artículos, mientras centenares de laboratorios en el mundo competían por obtener nuevas familias de SAT. De todas formas, la superconductividad es tan rica en fenomenología, tan difícil de explicar, tan indómita al fin y al cabo, que a pesar de tantos esfuerzos, hoy por hoy carecemos de un marco teórico que nos permita comprender totalmente el fenómeno y poder así impulsar su aplicabilidad.

Por otro lado, este carácter indómito otorga a la superconductividad el relevante papel de gran dinamizador de la ciencia. Ya su descubrimiento, al inicio del siglo veinte, supuso un enorme reto científico que impulsó los estudios experimentales y teóricos en diversos campos científicos y tecnológicos, tales como el de la física de bajas temperaturas, la física cuántica, la ciencia de materiales, etc. El descubrimiento de los SAT, impulsó enormemente el estudio de las propiedades funcionales de los óxidos y de otros materiales cerámicos. En particular, en España, el descubrimiento de los SAT provocó la eclosión de la mayor parte de los grupos que hoy día trabajan en Ciencia de Materiales. Es ilustrativo conmemorar como se vivió en nuestro Instituto dicho evento.

Recuerdo, que a los pocos meses de conocerse el trabajo de Bednorz y Müller, un grupo amplio de investigadores del ICMA dirigido por los Drs. Juan Bartolomé, Joaquín García Ruiz, Agustín del Moral, Rafael Navarro, y Conrado Rillo, comenzó a trabajar en estos nuevos materiales. Ya en 1987, un año después de su descubrimiento, se consiguieron fabricar algunos SAT, se llevó a cabo su caracterización y se publicaron los resultados. Se comenzó sintetizando cerámicas de Y-Ba-Cu-O y de Bi-Sr-Ca-Cu-O, algunas de las cuales tuve oportunidad de caracterizar por EPR. La necesidad de colaborar con otros grupos españoles y

europeos, llevó a la realización de proyectos multilaterales, financiados por la Comunidad Económica Europea (SCIENCE, BRITE -EURAM) o por el Ministerio (Programa MIDAS, CICYT, etc) lo que permitió la apertura de nuestro Instituto a la colaboración externa. Me gustaría comentar, que el programa MIDAS que incluía a unos veinte grupos de investigadores, fue patrocinado por las compañías eléctricas españolas. Se descubrieron nuevos SAT. Aun recuerdo nítidamente la emoción que me supuso el poder estudiar junto con la Dra Sanjuán mediante el efecto Raman, los fonones de un monocristal de Nd-Ce-Cu-O, fabricado por el Dr Salvador Piñol en el Instituto de Ciencia de Materiales de Barcelona. Este compuesto tenía la peculiaridad de ser el único óxido de cobre superconductor del momento, en el que los portadores eran electrones en vez de huecos. Maria Luisa Sanjuán profundizó en esta línea de trabajo con la tesis doctoral de María Angeles Laguna.

La mayor parte de los estudios realizados en el ICMA, se enfocaron hacia los aspectos fundamentales asociados con el anclaje de flujo, y la búsqueda de aplicaciones, tanto en electrónica (sensores) como en electricidad de potencia. A esta línea de investigación, se incorporaron Francisco Lera, cuya tesis (1987-90) abordó aspectos de caracterización magnética ac de cerámicas SAT, y el Dr. Germán de la Fuente, que desarrolló la línea de la texturación de estos materiales mediante la técnica de zona fundida flotante inducida por radiación láser (LFZ). Las barras texturadas así producidas, presentan interesantes aplicaciones prácticas como conectores de corriente en imanes superconductores.

Incidentalmente, he de decir que gracias al Profesor Juan Bartolomé, en aquel tiempo director del ICMA, tuvimos la oportunidad de que Alex Müller visitara nuestro Instituto en 1990. Para muchos de nuestros jóvenes colaboradores, resultó especialmente emocionante el poder conversar con tan distinguido científico. Algunos de ustedes ignorarán que antes de que el profesor Alex Müller descubriera los SAT, era ya muy conocido por sus trabajos en EPR, en concreto por sus estudios de los defectos de Fe^{3+} en SrTiO_3 .

Una vez superada la euforia inicial, la actividad en los SAT decayó a nivel mundial y también en el ICMA. Solo permaneció un grupo estable de investigación, formado por los Drs. Germán de la Fuente, Francisco Lera, Rafael Navarro y Conrado Rillo, al que se agregaron durante más o menos tiempo otros investigadores: los Drs. Teresa Ruiz, Antonio Badía, Luis Alberto Angurel, Agustín Camón, Luis Giordano, Huang Yi Bing, Angel Larrea, Andrés Sotelo, Elena Martínez, Hamping Miao, José Ignacio Peña, Juan Carlos Díez, Jorge

Fernández, Mario Mora, Javier Sesé, Elena Bartolomé, Guillermo Peón, Eva Natividad, Mohamed H Korany y María Antonieta Madre.

Actualmente, el grupo de superconductividad del ICMA que dirige Rafael Navarro, investiga activamente diversos aspectos de los SAT tales como, la teoría del anclaje de flujo magnético y los modelos de estado crítico, la fabricación de materiales texturados de Y-Ba-Cu-O-O y de Bi-Sr-Ca-Cu-O, y la fabricación de hilos compuestos de Bi-Sr-Ca-Cu-O y de boruro de magnesio con plata.

En resumen quiero resaltar que, tal como nos ha ilustrado el profesor Navarro, el campo de la superconductividad tiene aún un enorme interés científico y tecnológico, a pesar de sus casi 100 años de antigüedad. Si bien, las posibilidades de obtener dispositivos funcionando a temperatura ambiente son exiguas, existen multitud de aplicaciones potenciales, a temperaturas fácilmente alcanzables mediante líquidos criogénicos o criogeneradores. Además, la superconductividad se resiste tenazmente a abandonar su protagonismo en el mundo de la ciencia, y cada vez que el tema parece languidecer, aparece una nueva familia de compuestos con propiedades totalmente novedosas, caso del boruro de magnesio estudiado a principio de este siglo o de los arseniuros de hierro descubiertos el año pasado. Es por ello muy importante, que científicos altamente cualificados decidan mantener su actividad en este campo. El profesor Navarro es uno de ellos, y la Academia debe felicitarle por tenerlo entre sus miembros.

Amigo Rafa, bienvenido a la Academia.

Muchas gracias