

DISCURSO DE CONTESTACIÓN

POR EL

Ilmo. Sr. D. PABLO ALONSO GASCÓN

Excelentísimo Señor Presidente,

Excelentísimos e Ilustrísimos señoras y señores Académicos,

Señoras y señores:

Ya han pasado más de nueve lustros desde que conocí a Juan. En el curso 1970-71 yo cursaba la asignatura de Termodinámica y Mecánica Estadística –entonces denominada Física II– que impartía el profesor Domingo González; éste confió en cuatro brillantes alumnos de últimos cursos la tutela de otros tantos grupos para la realización de casos prácticos. El azar quiso que a mí se me asignase el grupo supervisado por Juan Bartolomé, quien, junto con sus conocimientos, nos transmitía su entusiasmo y rigor a la hora de abordar los diversos problemas estudiados. Al finalizar los estudios de licenciatura me incorporé al entonces Departamento de Física Fundamental y allí me encontré de nuevo con Juan, quien estaba finalizando su tesis doctoral. Desde entonces han sido múltiples las ocasiones en las que hemos coincidido y puedo afirmar sin exageración que el beneficiario, además de un admirable científico, es un compañero generoso y una excelente persona con la que me unen fuertes lazos de amistad.

Pueden ustedes comprender, tras este, quizás muy personal, preámbulo, que cumplir el encargo de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas, Químicas y Naturales de Zaragoza de contestar al discurso de ingreso del Profesor Doctor D. Juan Bartolomé Sanjoaquín sea para mí una gran satisfacción.

Juan Bartolomé nace en Zaragoza el 25 de noviembre de 1949, ciudad en la que adquiere su educación inicial, funda una familia junto con su esposa María Teresa y sus dos hijas, Cristina y Elena, y donde, mayoritariamente, ha ejercido su dilatada y fructífera labor profesional.

Tras finalizar en 1971 sus estudios de Licenciatura en Ciencias Físicas se incorpora al laboratorio de Termología en el cual, bajo la dirección del profesor Domingo González Álvarez, realiza su tesis doctoral que defiende en julio de 1975. Una de las labores llevadas a cabo por Bartolomé en esta época fue la puesta en marcha en los sótanos de la Facultad de Ciencias del primer licuador de helio de la universidad española, lo que pronto convertiría a Zaragoza en un referente para la criogenia de nuestro país. En esta tarea ya demostró su gran capacidad de organización, sus dotes para la gestión y su altura de miras en lo

que al futuro científico se refiere; esta obra, para él tan querida, ha cristalizado en el actual servicio de líquidos criogénicos de la Universidad de Zaragoza. También durante la realización de su tesis efectúa una breve estancia en el Laboratorio Kamerlingh Onnes de la Universidad de Leiden.

En este mismo laboratorio lleva acabo una estancia postdoctoral durante casi dos años iniciándose, bajo la supervisión del profesor Joss de Jongh, en el estudio de fenómenos magnéticos y la física a bajas temperaturas. A su regreso se incorpora a la Universidad de Zaragoza, primero como profesor agregado interino en la ETSII durante el curso 1977-78 y, posteriormente, como profesor adjunto numerario de Termología en la Facultad de Ciencias (1978-1985) pasando a profesor titular de Física de la Materia Condensada, situación en la que continua hasta 1987, fecha en que se incorpora al CSIC tras obtener, por oposición en turno libre, una plaza de profesor de investigación en el Instituto de Ciencia de Materiales de Aragón (ICMA), que poco tiempo antes había sido creado como centro mixto del CSIC y la Universidad de Zaragoza.

Precisamente en la creación del ICMA el profesor Bartolomé tuvo un gran protagonismo tanto directamente, tomando parte activa en las diferentes discusiones que llevaron a la concepción de este instituto mixto, como en calidad de miembro de la ponencia sobre Nuevos Materiales del Ministerio de Industria, a la que perteneció entre 1984 y 1985, ponencia que estimuló la creación de dichos centros mixtos. Es en el ICMA donde ha realizado desde entonces toda su labor científica habiendo sido director del citado instituto entre 1987 y 1991. No son éstas sus únicas contribuciones a la gestión científica. Entre 1982 y 1988 fue consejero científico del CONAI, organismo dependiente del gobierno autónomo de nuestra región, fue miembro de la ponencia en Ciencia de Materiales del CSIC desde su creación en 1985 hasta 1988, en 1987 fue coordinador de la CICYT para radiación de sincrotrón, de la dirección del laboratorio europeo MANES (CNRS-CSIC) se ocupó entre 1993 y 1996 y durante siete años, entre 1997 y 2004, fue coordinador Institucional del CSIC en Aragón. También ha formado parte de diversas comisiones de diferentes grandes instalaciones europeas: su pertenencia al comité asesor científico de la fuente de neutrones ISIS, en el Reino Unido, o al comité científico del sincrotrón Soleil son ejemplos de ello.

Particularmente notable es su participación en la gestación, desarrollo y gestión de la participación española en la Instalación Europea de Radiación de Sincrotrón (ESRF). Durante el periodo de su construcción (1985-1993) fue consejero científico de la representación española entre 1985 y 1986, miembro del consejo de administración desde 1985 y posteriormente miembro del comité científico asesor.

La labor científica del profesor Bartolomé ha sido amplia. Durante su larga carrera investigadora ha participado en más de sesenta proyectos de investigación financiados con fondos públicos (siendo investigador responsable de más de cuarenta) y ha tomado parte en proyectos I+D demandados por industrias. El magnetismo, junto con el estudio de los materiales magnéticos y sus aplicaciones, ha sido el leitmotiv de su actividad; bajo su liderazgo y buen hacer, el cultivo de esta disciplina en Zaragoza, y particularmente en el ICMA, ha adquirido un merecido reconocimiento internacional. Actualmente varios de sus discípulos cultivan distintos aspectos de esta especialidad de la Física de Materiales existiendo fuertes sinergias entre los diferentes grupos nacidos de la actividad del recipiendario, sinergias, que sin duda, son fruto de las enseñanzas del maestro. Su papel relevante en el desarrollo del magnetismo en nuestro país ha sido reconocido con la concesión en 2014 del premio “Salvador Velayos” de Magnetismo otorgado por el Club Español de Magnetismo.

Su insaciable curiosidad científica así como su capacidad de colaboración, de la que dan cuenta sus numerosas peregrinaciones científicas, y de la que el que les habla puede dar fe, permiten etiquetar su actividad científica de polifacética dada la multitud de temas abordados y el amplio número de técnicas utilizadas para ello. Sus más de trescientas publicaciones hablan por sí solas de ello. En el preámbulo de su discurso ya enumera algunos de estos temas cuando justifica el elegido para su discurso: la utilización de técnicas de difracción magnética circular con rayos X para la resolución de diferentes problemas asociado al magnetismo de la materia condensada.

Desde el punto de vista de nuestro actual conocimiento, el uso de la radiación electromagnética para obtener información es tan antiguo como la Humanidad. El sentido de la vista es fundamental para interactuar con el mundo que nos rodea y, desde nuestra más tierna infancia, mediante el mismo reconocemos formas, colores y texturas de los seres que nos circundan así como apreciamos sensaciones y aptitudes de nuestros congéneres más o menos cercanos. Mediante la vista adquirimos experiencias de utilidad para nuestro posterior desarrollo vital. No es por ello extraño que diversas culturas consideren la luz como algo especial: la tradición judeo-cristiana sitúa el nacimiento de la luz el segundo día de la Creación, antes de la aparición de los seres vivos, y en una cultura tan lejana como la maorí la luz –*Te Ao*– es considerada como una divinidad que representa la comprensión floreciente de un conocimiento cada vez más vasto y la conciencia de ello.

Los filósofos clásicos ya especularon sobre la naturaleza de la luz; conocedores de su propagación rectilínea así como de los fenómenos de reflexión y refracción, fueron

también familiares con la manipulación de vidrios. Aunque existen indicios del uso de lentes correctoras de la visión en los jeroglíficos egipcios del siglo V a.C., es durante el Medievo, tras la traducción al latín de la *Óptica* de Alhacén, escrita entre 1011 y 1021, cuando se introduce el uso de las gafas para mejorar la visión. En su obra, Alhacén describe multitud de experimentos sobre la formación de imágenes en sistemas dióptricos y catadióptricos y, dos siglos antes que Galileo, introduce el método científico subrayando que las hipótesis formuladas han de ser comprobadas por la experimentación. Su influencia es notable en diversos pensadores de la Europa renacentista. Es en este periodo cuando se desarrollan distintos instrumentos de visión –gafas, anteojos, telescopios– al parir de la expansión de la astronomía y la cartografía debido al auge de la navegación. Este desarrollo técnico, basado en lo que hoy se conoce como óptica geométrica, continúa hasta la Edad Moderna y a finales del siglo XVI (1590) Zacharias Janssen inventa el microscopio.

Es en el siguiente siglo cuando el problema de la naturaleza de la luz es abordado y dos gigantes de la Nueva Filosofía entran en escena creando una de las disputas científicas más conocidas y, probablemente, más fértiles de la historia de la Ciencia. En 1637 René Descartes publica en Leiden su obra *Dióptrica* en la que describe la luz como una onda de presión que se transmite en un medio perfectamente elástico que llena todo el espacio. Entre 1670 y 1672 sir Isaac Newton se ocupa de problemas relacionados con la naturaleza de la luz desarrollando una teoría corpuscular de la misma. Muestra que la luz blanca está compuesta de diversos colores que pueden separarse cuando aquélla atraviesa un prisma. Estos trabajos están recopilados en su obra *Opticks* publicada en 1704.

Entre tanto, Erasmus Bertholius había observado en 1669 la doble difracción en el espató de Islandia, una variedad de calcita, fenómeno que es explicado en 1690 por Huygens en el marco de una descripción ondulatoria introduciendo el concepto de polarización aunque la acuñación de este término habría de esperar a Malus cuando, en 1807, describe la observación, a través de un cristal de calcita, de la polarización de la luz solar. Precisamente esta cualidad de la luz, la polarización, es en la que Newton sustenta su mayor objeción a la teoría ondulatoria ya que implicaba la existencia de ondas transversales; en esta época sólo se tenía conocimiento de las ondas longitudinales.

Es en el siglo XIX cuando tienen lugar grandes avances tanto en la descripción de la naturaleza de la luz como en su utilización como una herramienta para obtener información acerca de la estructura y composición de la materia (básicamente a través de un conocimiento empírico). La centuria se inicia con el descubrimiento por Herschel de la radiación infrarroja y un año más tarde, en 1801, Ritter descubre la radiación ultravioleta

denominándola inicialmente rayos químicos. Éste es también el siglo del nacimiento de la espectroscopía que tiene lugar con la invención por Fraunhofer, en 1814, de un espectroscopio que utiliza redes de difracción y permite una determinación más precisa de las líneas espectrales. Con su instrumento observa líneas oscuras en el espectro solar, líneas que hoy llevan su nombre. En 1820 Herschel y Talbot realizan un estudio sistemático de diversas sales utilizando espectroscopía de llama y en 1835 Wheatstone inicia la espectroscopía de chispa comparando sus resultados con los obtenidos anteriormente. Finalmente, en 1859 Kirchoff y Bunsen caracterizan los espectros de diferentes sustancias estableciendo las bases de la espectroscopía como una técnica analítica. Durante esta primera mitad del siglo comienza a usarse de forma práctica la polarización de la luz tras la invención por William Nicol de un prisma que permite obtener fácilmente luz polarizada. Es a partir de entonces cuando se construyen los primeros polarímetros que, merced a los trabajos de Biot y Seebeck sobre el poder rotatorio de disoluciones, empiezan a ser utilizados en la industria química y para la realización de análisis clínicos. Estos instrumentos son la base de los sacarímetros empleados desde entonces en la industria azucarera.

Por otra parte diversos experimentos realizados a principios de siglo llevan a establecer definitivamente la naturaleza ondulatoria de la luz. Entre ellos destaca la observación en 1811 del punto de Arago o de Poisson, que da la estocada final a la concepción corpuscular. Arago junto con Fresnel prueban en 1816 que rayos polarizados perpendicularmente no interfieren, resultado que lleva a Young a postular en 1817 la transversalidad de las ondas luminosas. Es en este marco conceptual en el que Fresnel deduce en 1832 las leyes que rigen la polarización para la reflexión y transmisión formulando lo que hoy conocemos como ecuaciones de Fresnel.

Quedaba pendiente establecer la naturaleza de estas ondas. En 1820 Oersted da a conocer sus resultados acerca de los efectos magnéticos producidos por corrientes eléctricas y en agosto de 1831 el polifacético Faraday logra detectar corrientes inducidas por un campo magnético variable en el tiempo; estos resultados ponen de manifiesto la relación entre los fenómenos eléctricos y magnéticos, dando lugar al nacimiento del electromagnetismo. Este último autor describe en 1845 la rotación del plano de polarización de la luz cuando ésta atraviesa un vidrio boro-silicato de plomo situado en un campo magnético paralelo a la dirección de propagación, comportamiento que es actualmente conocido como efecto Faraday y que es el origen de la magneto-óptica. Entre los fenómenos magneto-ópticos se encuentra el efecto MOKE descubierto por Kerr en 1877, consistente en el cambio de polarización e intensidad de la luz reflejada por una superficie de un material magnético, y el efecto Zeeman, descrito por Pieter Zeeman en 1896, que se manifiesta en el desdobra-

miento de la líneas espectrales emitidas por una sustancia cuando ésta se encuentra bajo un campo magnético.

Por otra parte Faraday introduce la noción de campo frente al concepto newtoniano de acción a distancia, concepción que llevaría a Maxwell a formular, en 1865, sus celebradas ecuaciones como una descripción del electromagnetismo y de las que se deriva la aparición de ondas transversales que se propagan a la velocidad de la luz. El propio Maxwell sugirió, a partir del efecto Faraday, que luz es una onda electromagnética, pero habría que esperar hasta 1888 para disponer de la comprobación experimental proporcionada por Hertz. El espectro electromagnético se amplía en la región de las radiofrecuencias y tiene lugar el nacimiento de las telecomunicaciones.

Es a finales de siglo cuando Roentgen descubre los rayos X, radiación generada en tubos de rayos catódicos y que puede atravesar diversos espesores de materia en función de su densidad, permitiendo obtener imágenes de partes ocultas. Inmediatamente esta nueva radiación es utilizada para observar malformaciones o cuerpos extraños incrustados en tejidos y su uso como técnica de diagnóstico se extiende. Desconocedores de los efectos adversos de la nueva radiación enseguida se ofrece propaganda de servicios para obtener imágenes de nuestro interior por un módico coste. Los más maduros podemos recordar cuando en nuestra niñez algunas zapaterías ofrecían a finales de los cincuenta y principios de los sesenta del pasado siglo, como un signo de modernidad, una visualización de cómo los zapatos que íbamos a adquirir se ajustaban a nuestro pie haciendo uso de imágenes obtenidas por rayos X.

A pesar de este rápido desarrollo de sus aplicaciones la naturaleza de la radiación descubierta por Roentgen permaneció desconocida durante casi veinte años y de nuevo la disputa entre los partidarios de una teoría corpuscular y los de un modelo ondulatorio aparece; en este último caso la disputa se amplía entre los que defienden que se trata de ondas longitudinales y aquéllos que suponen que son ondas transversales. A pesar de ello se inicia una primera etapa de la espectroscopía con rayos X, los cuales son caracterizados por su poder de penetración. En este contexto son de destacar los trabajos de Barkla, quien entre 1906 y 1908 estudia la radiación secundaria emitida por diversos elementos encontrando que el poder de penetración de la misma en aluminio depende del elemento emisor. Este autor introduce la notación de rayos K y L para distinguir la dureza de los rayos emitidos por cada uno de los elementos. Entre tanto la teoría atomística de la materia había ganado la aceptación general y von Laue propone medir la longitud de onda de la nueva radiación utilizando como red de difracción la estructura periódica de los cris-

tales. El experimento, realizado con éxito en 1912 haciendo uso un cristal de sulfuro de zinc, permitió identificar a von Laue al menos cinco longitudes de onda características de la radiación incidente. Estos trabajos fueron inmediatamente seguidos en el Reino Unido por William Henry Bragg y su hijo, William Lawrence Bragg, quienes, haciendo uso de diversos cristales, midieron las longitudes de onda características de diferentes metales utilizados como anticátodos y establecieron las bases de la cristalografía, al mostrar que no solo las posiciones de los máximos de difracción están relacionadas con la estructura cristalina, como había señalado von Laue, sino que además las intensidades de estos máximos proporcionan información acerca de la disposición de los constituyentes del cristal. Sus resultados, publicados en 1915, son el punto de partida de la cristalografía.

Por otra parte en 1900 tiene lugar el nacimiento de la mecánica cuántica con la hipótesis de Planck y, basándose en ella, Einstein explica el efecto fotoeléctrico en 1905. Bohr introduce en 1913 su modelo de átomo imponiendo condiciones de cuantificación de la energía de las orbitas y explicando con ello las líneas espectrales del hidrógeno. El átomo consiste en un pequeño núcleo de carga positiva, el núcleo atómico, rodeado de una nube de electrones que proporcionan al conjunto la neutralidad eléctrica. Moseley prosiguió con las ideas de Barkla de caracterizar la radiación X emitida por distintos elementos utilizados como anticátodo. Éste disponía de una manera de determinar la longitud de onda, y en consecuencia la frecuencia, de la radiación emitida y, en 1913, Moseley enuncia la ley que relaciona dicha frecuencia con el número atómico del elemento emisor, relación que justifica considerando que la emisión característica de cada elemento es debida a transiciones entre niveles de energía cuantificados dentro del modelo de Bohr. Ello tuvo profundas consecuencias ya que dio lugar a una nueva ordenación en la tabla periódica basada en los números atómicos en lugar de en los pesos atómicos, como había llevado a cabo Mendeleiev, y, además, eliminó la posible existencia de un nuevo elemento entre aquéllos con número atómico consecutivo. Por otra parte la ley de Moseley proporciona una huella identificativa clara de los elementos a partir de su espectro de rayos X característico y convertía a la moderna espectroscopía de rayos X en una poderosa técnica de caracterización elemental. De esta potencialidad se dio cuenta inmediatamente Urbain, un químico francés que se dedicaba a la separación e identificación de sales de tierras raras, problema de gran dificultad a comienzos del siglo XX. Éste, conocedor de los resultados de Moseley, se trasladó a Oxford con sus muestras. Urbain quedó impresionado por la precisión y rapidez con que el espectrómetro de Moseley podía distinguir diversas tierras raras así como caracterizar mezclas de éstas y ayudó a diseminar rápidamente la nueva espectroscopía entre la comunidad de químicos. Moseley murió a la temprana edad de 27 años en la batalla de Galípoli durante la I Guerra Mundial por los disparos de un franco-

tirador mientras estaba telegrafando una orden. Debido a la presión de científicos como Rutherford, tras su muerte, el gobierno británico modificó la política de alistamiento en las fuerzas armadas en tiempo de guerra, prohibiendo que notables o prometedores científicos fueran destinados a puestos de combate. Los trabajos de Moseley fueron continuados por el físico sueco Karl Manne Siegbahn quien realizó sistemáticas y precisas determinaciones de la longitud de onda de la radiación característica de diversos elementos observando, además de las líneas K y L descritas anteriormente por Barkla y Moseley, las líneas M, N y O de los elementos más pesados. Su contribución realizada en la Universidad de Lund, y continuada tras su traslado a la Universidad de Uppsala en 1923, puso definitivamente los cimientos de la espectroscopía de rayos X por lo que fue galardonado con el premio Nobel de 1924. Siegbahn fue capaz de observar difracción de rayos X utilizando un prisma probando definitivamente su carácter de onda electromagnética.

Por otra parte, en 1920 Kessel da cuenta de la observación de estructuras en los bordes de absorción de los espectros de rayos X y una década más tarde Kronning da una explicación de las mismas en tres trabajos seminales publicados entre 1931 y 1932. Conocidas por ello inicialmente como oscilaciones de Kessel u oscilaciones de Kronning son lo que actualmente se conocen como estructura fina de la absorción de rayos X, señal XAFS, dividiéndose en la señal EXAFS y XANES. La interpretación de Kronning perviviría durante cuarenta años a pesar de ciertas discrepancias cuando se comparan los resultados experimentales con sus previsiones. Es en 1971 cuando Sayers, Lytle y Stern formulan la teoría correcta de la señal EXAFS y es en esta década cuando surgen los primeros sincrotrones utilizados como fuente de radiación X. Ambos hechos dieron madurez a la espectroscopía de absorción de rayos X (XAS), facilitando su utilización por científicos y técnicos de diferentes áreas con la finalidad de obtener información estructural local dado el carácter selectivo de la técnica.

Entre tanto, animados por los éxitos obtenidos con la espectroscopía de rayos X usando fuentes convencionales, y una vez establecida su naturaleza electromagnética, surgieron diferentes iniciativas para extender los logros conseguidos anteriormente en la región visible, tanto en el campo de la espectroscopía como en el de la formación de imágenes. Su menor longitud de onda aumentaba, en principio, la resolución debido al límite de Airy y su poder de penetración simplificaba la preparación de las muestras, particularmente las de carácter metálico, que podían ser estudiadas en forma masiva. Así, a finales de la década de los cuarenta Sir Lawrence Bragg obtuvo una imagen utilizando un microscopio de rayos X blandos. Sin embargo los bajos flujos disponibles junto con la baja eficiencia de los sistemas ópticos en esta región del espectro proporcionaron resultados muy modestos.

En particular, intentos de observar rotación de Faraday o dicroísmo circular en la región de los rayos X se llevaron a cabo desde los primeros tiempos tras el descubrimiento de éstos, pero fueron fallidos en lo que se refiere a la observación del efecto MOKE o la espectroscopía de dicroísmo magnético circular que, derivada del efecto Zeeman, desde los años treinta se había convertido, en la región visible y ultravioleta próximo, en una técnica de gran utilidad en los estudios de defectos e impurezas metálicas en materiales así como para la caracterización de materiales magnéticos transparentes. Con el advenimiento de fuentes de rayos X provenientes de la radiación de sincrotrón nuevos esfuerzos se realizaron para la observación de dicroísmo magnético circular en la región de los rayos X (XMCD) y es en 1987 cuando se observa por primera vez un espectro XMCD utilizando como fuente de rayos X la radiación del sincrotrón DESY en Hamburgo. Desde entonces esta técnica se ha revelado como una herramienta poderosa para el estudio de diversos sistemas magnéticos, pero esta historia ya nos la ha contado el recipiendario en su discurso, donde ha puesto de manifiesto la potencialidad del dicroísmo magnético circular con rayos X para la resolución de diferentes problemas asociado al magnetismo de la materia condensada, que van desde la caracterización de imanes permanentes hasta las más recientes aplicaciones en nanomagnetismo pasando por estudios de magnetismo molecular, cuestión de gran actualidad por la potencial aplicación de estos sistemas en dispositivos utilizables en un futuro computador cuántico, tema por el que recientemente ha apostado fuertemente la Unión Europea. Quiero enfatizar que todos los ejemplos presentados por el recipiendario en su discurso son fruto de su propia labor científica, lo que es una muestra más de su gran altura científica a la que se unen sus excelentes cualidades humanas que los que lo conocemos podemos testificar. Esta Academia debe felicitarse por contar desde hoy, entre sus miembros de número, con un gran científico activo y entusiasta así como con una persona de gran capacidad de trabajo.

Por último, si, como he indicado en el preámbulo de esta contestación, cuando conocí a Juan me impresionó su entusiasmo y rigor, puedo constatar que el paso de los años no ha aminorado, sino todo lo contrario, estas calidades como lo demuestra en las discusiones que actualmente tenemos ocasión de llevar a cabo sobre diversos problemas científicos de interés común. No me resta ya más que dar la enhorabuena a recipiendario en nombre de la Corporación y muy especialmente en el mío propio y concluir mi intervención diciendo: amigo Juan bienvenido a esta centenaria Academia.

Muchas gracias