

LA CIENCIA ESPAÑOLA SE INTERNACIONALIZA: LA INTRODUCCIÓN DE LA TEORÍA CUÁNTICA EN ESPAÑA (1908-1919)

per

JOSÉ M. SÁNCHEZ RON

1. INTRODUCCIÓN

Son numerosos los estudios que la nueva escuela de historiadores de la física española han dedicado a la introducción de las dos teorías de la relatividad en España. No ocurre lo mismo, sin embargo, con el caso de la difusión de las ideas cuánticas, tema prácticamente ignorado salvo escasísimas excepciones. De hecho, esta situación tiene un tanto de paradójico ya que, a la postre, fue en campos relacionados –más o menos directamente– con la física cuántica en donde los físicos españoles realizarían sus contribuciones más originales y numerosas.

2. LA APARICIÓN DE LAS IDEAS DE PLANCK EN ESPAÑA. EL CONGRESO DE LA ASOCIACION ESPAÑOLA PARA EL PROGRESO DE LAS CIENCIAS DE ZARAGOZA (1908)

Hacia finales de 1907, la sección de Zaragoza de la Real Sociedad de Historia Natural proponía a la Junta directiva de la Sociedad la celebración de un congreso nacional de naturalistas. Tras algunos intercambios de opinión, se transformaba el proyecto, extendiéndolo a todas las ramas de la ciencia.

De la entrevista del presidente de la Sociedad de Historia Natural, D. Luis Simarro, en busca de patrocinador, con D. Segismundo Moret, surgió el proyecto de fundar la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias, con un programa análogo al de las que ya existían en Inglaterra, Suiza, Francia y Alemania, por mencionar algunas. El 2 de enero de 1908, tras la

reunión que bajo la presidencia de Moret, se celebró en el Ateneo de Madrid con representantes de las Academias, centros docentes, sociedades científicas, laboratorios, etc., quedó acordado el establecimiento de la asociación. Poco después se decidía la celebración, en Zaragoza, de su primer congreso.

Este primer congreso de la Asociación para el Progreso de las Ciencias tuvo lugar durante el mes de octubre de 1908. En el discurso pronunciado por el presidente de la Asociación, Segismundo Moret, se señalaban como fines de ésta los siguientes:

- Comunicar impulso vigoroso y dirección sistemática a la investigación científica.
- Fomentar las relaciones de cuantos cultivan las ciencias en las diferentes partes del mundo donde se habla lengua española, relacionándolos, no sólo entre sí, sino también con los hombres de ciencia extranjeros.
- Promover una atención más constante y sostenida hacia los estudios científicos, y remover los obstáculos de carácter público que se oponen al progreso de la ciencia.

Tras los discursos inaugurales, comenzó el desarrollo de las sesiones. En una de ellas el cuanto haría su primera aparición *pública* en España. El introductor fue un joven catedrático de 25 años de Acústica y Óptica de la Universidad de Barcelona: Esteban Terradas e Illa.¹

Hasta entonces, el eco del tema del cuerpo negro (del que en 1900 Max Planck había extraído la primera discontinuidad cuántica) había sido casi nulo. Por lo que sabemos la única referencia a este tema en la literatura científica española con anterioridad a 1908 se encuentra en un artículo titulado “La energía de la luz emitida por un cuerpo negro incandescente”, que apareció en 1907 en la sección “Notas alemanas de física”, sección que firmada por el químico alemán Werner Mecklenburg había comenzado a publicarse en los *Anales de la Sociedad Española de Física y Química* en 1906.² Ahora bien, en esta nota-artículo Mecklenburg se limitaba a describir someramente métodos y medidas experimentales sin dar ninguna de las fórmulas propuestas por Wien, Jeans y Rayleigh, o Planck para la distribución espectral de la energía.

Se puede afirmar, por consiguiente, que las dos conferencias que Terradas pronunció en el Congreso de Zaragoza constituyen la primera referencia escrita que tenemos en España sobre el problema de la radiación del cuerpo negro, desde el punto de vista teórico, y de la fórmula de Planck con la introducción del cuanto de energía y la constante de acción h . Las dos conferencias de Terradas fueron, de hecho, pronunciadas el mismo día (27 de octubre). Una, con el título “Sobre la mecánica estadística”, en las sesiones de la sección de ciencias exactas, y la otra “Teorías modernas acerca de la emisión de luz”, en la sección de ciencias físico-químicas.

Así pues, hubieron de transcurrir casi ocho años desde el 14 de diciem-

bre de 1900, fecha en la que Max Planck había expuesto ante los miembros de la Sociedad alemana de Física la formulación teórica a través de la cual llegaba a la ley de distribución de la radiación del cuerpo negro, cuya fórmula empírica él mismo había propuesto dos meses antes, para que sus conclusiones llegasen al ámbito científico español.

En la conferencia pronunciada en la sección de ciencias exactas, “Sobre la mecánica estadística”, Terradas expone los resultados más recientes de la mecánica estadística, especialmente la formulación de Gibbs, tal y como aparecía expuesta en su famoso libro *Principles of Statistical Mechanics* (New Haven, 1902), al que Terradas hace referencia. Tras exponer la teoría, la aplica a diversos problemas, uno de ellos el de “La emisión de radiaciones”. Haciendo uso de la mecánica estadística llega a la radiación de Jeans “deducida” —escribe Terradas³— “siguiendo la exposición de Lorentz en la conferencia que dio en Roma este año con ocasión del IV Congreso Matemático Internacional”. Esta conferencia de Lorentz a la que se refiere Terradas tiene importancia en el proceso de asimilación de la teoría cuántica por los físicos europeos. Según Kuhn:⁴

“La demostración que dio Lorentz de la ley de Rayleigh-Jeans causó una impresión mucho más honda a sus coetáneos que ninguna de las que habían aparecido hasta entonces...”

Su demostración de la ley de Rayleigh-Jeans era por méritos propios la más completa, general y convincente que se había dado hasta entonces.”

Si unimos a esto la enorme autoridad personal de que gozaba Lorentz, queda justificado el siguiente párrafo de Kuhn:⁵

“Parece ser que fue después de la conferencia de Lorentz en Roma cuando la profesión de los físicos en general se vio enfrentada con lo que poco después se denominaría la catástrofe del ultravioleta y, por consiguiente, con la necesidad de elegir entre la teoría de Jeans y una versión no clásica de Planck”.

En efecto, hasta entonces la generalidad de los físicos (con notables y muy escasas excepciones, como Einstein y Ehrenfest) no había tenido realmente conciencia de hasta qué punto la “teoría” de Planck rompía con la tradición clásica. Así, por ejemplo, Kayser en su *Handbuch der Spectroskopie* (Leipzig, 1902) señalaba a Planck como “el hombre que partiendo de la teoría electromagnética ha encontrado evidentemente la verdadera fórmula de radiación.” En el mismo sentido, en su *Termodinámica* (1904), Voight escribía:

“Mediante una notabilísima combinación de consideraciones probabilísticas con la teoría de emisión de ondas de resonadores eléctricos, el señor Planck ha llegado a una fórmula que satisface los experimentos en toda la región en que ha sido investigada.”

La segunda de las conferencias de Terradas, la titulada “Teorías modernas de la emisión de la luz”, transmitía de manera todavía más clara y explícita la crisis que la física clásica estaba atravesando. Comienza Terradas recordando algunos resultados clásicos de la teoría de la radiación térmica: le-

yes de Kirchhoff, ley de Stefan-Boltzmann y ley de Wien del desplazamiento. Señala además que Wien había demostrado que el problema de buscar la densidad de la radiación u_ν , como función de la frecuencia, ν , y de la temperatura absoluta, T , se reducía al de buscar u_ν como función del cociente ν/T , restricción sobre la ley de distribución que constituyó una poderosa ayuda para los argumentos posteriores de Planck.

Tras estos preliminares, pasa a explicar “*de qué modo los físicos han razonado para establecer la forma de la distribución de densidad de radiación.*” Expone primero la ley de radiación de Jeans. Explica en términos generales cómo se obtiene, remitiendo a su conferencia en la sección de ciencias exactas para los detalles, y al discutir los resultados a que conduce la fórmula de Jeans hace Terradas una observación importante:

“Ante este resultado, no hay más remedio que, o bien transformar los principios teóricos de la electricidad en uso hoy día, o criticar los experimentos realizados, en el sentido de que las observaciones no responden a la emisión del cuerpo negro, pues los utilizados como tales no lo son acaso para pequeñas longitudes de onda.”

Expone entonces la tesis de Jeans, según la cual la transferencia de energía entre la materia y los modos de vibración de éter asociados a longitudes de onda cortas se realizaría de modo tan lento que el estado de equilibrio descrito por la ley de Jeans no podría darse físicamente. Los experimentos realizados referentes a la radiación del cuerpo negro no estarían estudiando situaciones de equilibrio. Tras indicar brevemente que Lorentz había obtenido también esta ley mediante la teoría de los electrones, pasa a exponer los cálculos de Planck que llevan a su ley de distribución.

En la exposición de Terradas no hay nada original, limitándose a seguir los razonamientos que Planck hace de sus *Lecciones sobre la teoría de la radiación térmica* (1906). Tras obtener la ley de distribución de Planck y señalar que para grandes longitudes de onda la expresión coincide con la fórmula de Jeans, Terradas afirmaba:

“La constante h , cuyo significado deja Planck para lo porvenir, tiene gran importancia; señala, en efecto, lo característico de la teoría, que se distingue por admitir que la energía de un resonador no puede variar por los fenómenos de emisión y absorción, si no es por *cuantums* múltiplos de ϵ , lo cual está en oposición con la teoría electromagnética de Maxwell, para la cual no hay *cuantums* privilegiados ni definidos.”

Y concluía su conferencia de esta manera:

“Sólo la experimentación podrá escoger las [*teorías de emisión*] más apropiadas, pues hoy día, aunque la teoría de Planck se avenga a los hechos observados, introduce hipótesis nuevas en Electricidad.”

Naturalmente, si estamos interesados en la difusión de las ideas cuánticas en España es interesante preguntarse acerca de la audiencia de Terradas en Zaragoza. En este sentido cabe decir que la sesión de la sección de ciencias físico-químicas del 27 de octubre en la que Terradas introdujo la ley de

radiación de Planck, se celebró bajo la presidencia de José Muñoz del Castillo, de la Real Academia de Ciencias y catedrático de la Facultad de Ciencias de Madrid, donde dirigía el Laboratorio de Radiactividad. El vicepresidente aquel día fue Antonio de Rocasolano, químico, profesor de la Universidad de Zaragoza, y el secretario José Rodríguez Mourelo, de la Real Academia de Ciencias y catedrático de la Escuela de Artes e Industrias. En la misma sesión fueron leídas otras memorias, por Blas Cabrera, Rodríguez Mourelo, Garzón y Carmona y Francisco Cebrián. En otras sesiones de esta sección participaron José Rodríguez Carracido, el P. Eduardo Vitoria e Ignacio González Martí, entre otros. Es probable, por consiguiente, que ellos también asistieran a la conferencia de Terradas. Salvo Cabrera ninguno de los asistentes mencionados tendría importancia en el desarrollo posterior de las ideas cuánticas en España.

Las comunicaciones de Terradas en Zaragoza están en realidad íntimamente unidas al discurso que, pocos meses después, el 15 de marzo de 1909, pronunciaba con ocasión de su recepción como académico de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona. El discurso, titulado "Sobre la emisión de radiaciones por cuerpos fijos o en movimiento", nos ofrece además en uno de sus párrafos la situación de los intereses de Terradas entonces:

"Durante todo lo que llevamos del año 1908, he dedicado mis estudios a la teoría de la emisión de la luz, procurando hacerme cargo de las difíciles cuanto sutiles consideraciones de los físicos actuales..."

Este interés de Terradas por las ideas cuánticas se mantuvo durante algún tiempo. Julio Palacios, que fue alumno suyo en Barcelona desde 1909 hasta 1912, diría más tarde:⁶

"Hacia la mitad de mi carrera, quiso mi buena fortuna que tuviese por profesor a Terradas, y el contraste [*con los métodos convencionales de enseñanza*] no pudo ser más brusco. No tenía ni método, ni libro, ni siquiera programa, y el primer día nos dejó atónitos al preguntarnos si queríamos aprender la óptica ondulatoria clásica o preferíamos (¡en 1910!), la teoría de los cuantos de Planck."

Y añadía después Palacios:

"Nos fue entregando en días sucesivos libros y revistas en inglés y alemán, asegurándonos que con no mucho esfuerzo lograríamos entenderlos."

De hecho, en 1915 Terradas dio un curso dentro de los "Cursos Monográfics d'Alts Estudis i d'Intercanvi" que se tituló "Els elements discrets de la matèria i de la radiació". El curso, actualizado, fue publicado aparentemente en 1916 por el Institut d'Estudis Catalans, como el primer volumen de la "Col·lecció de Cursos de Física i Matemàtica", colección dirigida por el propio Terradas. Los títulos de los capítulos dan una buena idea del amplio espectro y de la altura de los temas cubiertos por Terradas. Así, el primer capítulo se titula "Generalitats sobre la hipòtesi dels elements discrets"; el segundo, "Teoria dels gasos monoatòmics"; el tercero "Teoria de la radiació de Planck", y el último "Teoria del còs sòlid monoatòmic de Debye".

Es interesante señalar la actualidad del contenido de este cuarto capítulo en donde se discutían los resultados referentes a los calores específicos obtenidos por Debye. La aplicación del cuanto al problema de los calores específicos había surgido a raíz de un artículo de Einstein de 1907. Posteriormente, en 1911-1912, Debye y Nernst habían extendido los resultados de Einstein. De hecho durante los últimos años de la primera década, en que el problema de la radiación del cuerpo negro deja de ser el único tema en que parecía necesario recurrir al cuanto, y los primeros años de la segunda, hasta 1913, en que Bohr propone su modelo atómico, la teoría de los calores específicos ocupó un lugar preeminente entre las aplicaciones de la teoría cuántica.

El acierto y prontitud con los que Terradas discutía en los años que van de 1908 a 1915 temas de la física cuántica *teórica* no tuvo, por lo que sé, otro paralelo que las notas alemanas de física a las que pasaré de nuevo en seguida. Así tenemos, por ejemplo, que Blas Cabrera escogía como tema para su discurso de entrada en la Real Academia de Ciencias de Madrid “El éter y sus relaciones con la materia en reposo” (17 de abril de 1910). En los primeros compases de su conferencia Cabrera afirmaba:

“Debo ahora llenar un precepto de los Estatutos de esta casa desarrollando un tema científico, y soy ingenuo al confesaros que no dudé en elegir. Ninguno tan fundamental para las ciencias físicas, ni de actualidad tan palpitante como analizar el concepto que la Física moderna se forma del éter.”

Visto retrospectivamente no hay duda que en los alrededores de 1910 Terradas sabía apreciar mucho mejor el alcance de las nuevas teorías físicas. Ahora bien, al llegar a este punto cabría preguntarse acerca del impacto del magisterio de Terradas. En este sentido, y adelantando temas que volveremos a tocar más adelante, cabe decir que, como en el caso de otros campos tocados por Terradas, no es en absoluto evidente, más bien todo lo contrario, que su influencia fuese apreciable entre la pequeña comunidad de físicos y estudiantes españoles. Recordemos, en este sentido, como se ha discutido en otro lugar,⁷ la limitada formación teórica de que hicieron gala la mayor parte de los investigadores españoles en los temas de punta de la física cuántica teórica, cuando, hay que insistir en ello, el magisterio de Terradas era, en este campo, eminentemente teórico.

3. OTROS VEHÍCULOS DE DIFUSIÓN DE LAS PRIMERAS IDEAS CUÁNTICAS

Desde 1906, fecha en que comenzaron a publicarse en los *Anales de la Sociedad Española de Física y Química* las “Notas alemanas de física”, que ya mencionamos anteriormente, no apareció artículo alguno que hiciera referencia a las ideas cuánticas hasta 1909, con la excepción señalada en la sección anterior. Fue entonces cuando Mecklenburg discutió, en una nota titulada “Observaciones nuevas en los rayos canales con relación a la hipótesis

de los cuantos de luz”, un importante trabajo de Johannes Stark. Stark había comenzado a utilizar los cuantos en 1907 y fue uno de sus primeros defensores. En el artículo que mencionamos daba cuenta de experimentos (sobre rayos X, rayos catódicos y canales, etc.) que apoyaban la hipótesis de los cuantos de luz. Así, en lo que se refiere a los *Anales* debe mencionarse que la “segunda discontinuidad cuántica”, la de los cuantos de luz, hace su aparición de la mano de Stark, con Mecklenburg actuando, naturalmente, de portavoz.

Al año siguiente, 1910, vuelven a aparecer los cuantos luminosos en las “Notas alemanas de física”. Es un artículo de Mecklenburg sobre “La emisión de electrones negativos por la acción de la luz o de los rayos Roentgen”. Tras describir la realización experimental del efecto fotoeléctrico expone las teorías propuestas para explicarlo. Una, la propuesta por Lenard, suponía que se trataba de un fenómeno de resonancia, y la otra, la de Einstein, de los cuantos de luz. Aunque Mecklenburg no se inclinaba en su reseña por ninguna de las dos teorías, dedicaba bastante más espacio a la de Einstein.

En el mismo tomo de 1910 de los *Anales* se publican los extractos de las comunicaciones de la 81 Asamblea de Naturalistas y Médicos alemanes en la que Einstein pronunció su famosa conferencia “Sobre el desarrollo de nuestras ideas relativas a la naturaleza y composición de la luz” en donde, por primera vez, aparecía en la física cuántica la dualidad onda-corpúsculo, a través de un análisis de las fluctuaciones de energía y momento de la radiación en equilibrio térmico.⁸

La segunda década del siglo XX vería rápidos cambios en lo relativo a la difusión de la teoría cuántica en España. Las “Notas alemanas” no tardarían en desaparecer,⁹ pero antes de hacerlo todavía nos encontramos con discusiones de trabajos importantes como el de Nernst de 1911, titulado “La teoría del calor específico y la aplicación de la teoría de los cuantos de energía a los problemas químico-físicos”. Este artículo dio a conocer a un público mucho más amplio las primeras aplicaciones, fuera del cuerpo negro, de la teoría de los cuantos. Haciendo balance de las “Notas alemanas”, hay que decir que, al menos en lo relativo a la física cuántica, desempeñaron una función tremendamente positiva, manteniendo informados de los más recientes desarrollos de la física alemana a los lectores de los *Anales*.

A comienzos de la segunda década comenzó a publicarse en los *Anales* una sección de extractos de artículos publicados en las principales revistas de física y química extranjeras. De hecho, desde 1912, fecha en que comienzan a publicarse los extractos, que voluntariamente realizaban algunos socios de la Sociedad Española de Física y Química, el grosor de los *Anales* se duplica.

Uno de los primeros extractos publicados analizaba las memorias presentadas al congreso de Naturalistas y Médicos alemanes celebrado en Kals-

ruhe en 1911. Presenta interés especial la de Sommerfeld, titulada “El cuanto de acción de Planck”. El extracto está firmado por T., probablemente Terradas.

Otros extractos publicados aquel año presentaban trabajos de: Nernst (“Sobre una ley general referente a la manera de conducirse los elementos sólidos a temperaturas muy bajas”), Hasenöhl (“Sobre los fundamentos de la teoría mecánica del calor”), Haber, quien discutía algunos efectos fotoquímicos nuevos que en su opinión exigían una explicación cuántica, Weiss (“Las relaciones racionales de los momentos magnéticos de las moléculas y el magnetón”) y Planck (“Sobre las teorías termodinámicas modernas [el teorema del calor de Nernst y la hipótesis del quantum]”). El último artículo extractado de los *Anales* que mencionaremos es uno de Wilson sobre la teoría de las series espectrales, y lo citaremos porque el extracto está firmado por Manuel Martínez-Risco. Martínez-Risco fue, probablemente, uno de los primeros físicos españoles que, ayudados por la Junta de Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas, viajaron al extranjero. Marchó a Amsterdam a estudiar con Zeeman, y su tesis doctoral, “La asimetría de los tripletes de Zeeman” (Madrid 1912, 59 págs.), fue uno de los resultados de su estancia allí. En el sentido de que su campo de investigación estaba en el centro del debate cuántico, se podría haber esperado de Martínez-Risco una cierta sensibilidad y magisterio acerca de la física cuántica. Sin embargo, no fue así, y su carrera posterior no sólo estuvo, como en la mayoría de los físicos españoles, consagrada fundamentalmente a la física experimental, sino que además se centró en la óptica.

4. BLAS CABRERA. EL MODELO ATÓMICO DE BOHR

Blas Cabrera y Felipe fue, no cabe duda, el físico español más importante de las primeras décadas del siglo XX. Por ello resulta interesante analizar su relación con la teoría cuántica.

Como ya vimos antes, hacia 1910 el criterio de Terradas sobre los temas de punta en Física era más actual que el de Cabrera. Esto no debe sorprendernos. Basta echar una ojeada a la lista de publicaciones¹⁰ de Cabrera para comprobar que el pilar básico sobre el que se apoyaron durante muchos años sus trabajos fue la electrodinámica clásica. El calibrado de los hilos, la variación de la conductibilidad con la temperatura o diversos temas de magnetismo clásico están entre las cuestiones a las que dedicó más tiempo. Es natural, por consiguiente, que “El éter y sus relaciones con la materia en reposo” fuese el tema elegido por Cabrera para su entrada en la Academia de Ciencias de Madrid.

En lo que a la física cuántica se refiere, el punto de inflexión de la carre-

ra de Cabrera se sitúa, en nuestra opinión, hacia 1912. En 1911 Pierre Weiss, del Instituto Politécnico de Zurich, proponía la hipótesis del *magnetón*, según la cual los momentos magnéticos de los átomos deberían estar cuantizados, es decir, deberían ser proporcionales a un momento unidad llamado magnetón. Poco después Cabrera decidía iniciar su propia investigación sobre los momentos magnéticos de las sales del hierro, en colaboración con el químico Enrique Moles. Para ello decidió trasladarse a Zurich a trabajar con Weiss, aunque sin notificárselo. Con una pensión de la Junta de Ampliación de Estudios, Cabrera permaneció (en compañía de Moles) en Zurich desde abril de 1912 a enero de 1913, llegando a conseguir la estima de Weiss.

Los resultados de Cabrera y Moles se publicaron bajo el título "La teoría de los magnetones y la magnetoquímica de los compuestos férricos", en el volumen de los *Anales* del año 1912. Era la publicación número 30 de Cabrera y la primera relacionada con el cuanto.

El campo de investigación elegido y la estancia en Zurich obligaron a Cabrera a abrirse, no sin preocupaciones, al "escenario cuántico". Pronto tendría una ocasión propicia para demostrar públicamente cuáles eran sus nuevos intereses. En el 4º Congreso de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias celebrado en Madrid del 15 al 20 de junio de 1913¹¹ Cabrera pronunciaba la conferencia inaugural de la sección 3ª (ciencias físico-químicas). Transcribo a continuación algunos párrafos del discurso de Cabrera, que nos proporcionarán una visión de sus pensamientos por aquel entonces:

"Repasando la historia de las ciencias físicas en los cuatro últimos lustros, nótese la frecuencia de los descubrimientos que han obligado a romper con la tradición, haciendo tabla rasa de todas las teorías e hipótesis formuladas para coordinar los hechos experimentales, que de esta suerte, han quedado libres de ligaduras y dispuestos para una nueva ordenación... Bástenos citar... el descubrimiento de la radioactividad,... el de los electrones..., la audaz extensión del principio de relatividad..., y por último la hipótesis de los quanta de acción y de energía que no sólo choca con los principios semiarbitrarios que sirven de base a la ciencia, como ocurría en los ejemplos precitados, sino que está en oposición con nuestros métodos de razonar, si bien parece impuesta por los hechos."

Y continuaba así:

"Esta crisis de la ciencia, que ha barrido muchos de los postulados que se creyeron inmutables, ha conducido a un gran número de físicos y matemáticos a someter sus fundamentos mismos a una crítica severa."

Hablando, más adelante, del cuerpo negro, decía:

"[Para el problema] del cuerpo negro, de gran interés por las dificultades que he puesto de manifiesto, y que acaso obliguen a cambiar radicalmente los fundamentos mismos de la física teórica... hoy por hoy sólo se conoce un medio para conciliar la teoría con la experiencia, pero supone romper con los princi-

pios que parecían mejor establecidos, y con ideas teóricas cuyo éxito había sido hasta ahora completo. Veníase admitiendo que la energía de un sistema es en general, una función continua de sus coordenadas, condición indispensable para que las ecuaciones canónicas de Hamilton sean aplicables, y esta hipótesis es la que parece en contradicción esencial con los hechos. Cuando se prescindía de ella y se supone que la energía en sí misma, o su emisión, o su absorción, son funciones discontinuas que cambian por saltos bruscos, de tal suerte que un sistema contiene un número entero de veces un cierto quantum, del cual se deduce la energía multiplicándole por la frecuencia, la contradicción desaparece, pero simultáneamente surgen una multitud de problemas aún no resueltos, acaso de tanta monta como la misma que se quiere evitar. ¿Esta discontinuidad, se aplica a la emisión, la absorción y la radiación, o sólo a la primera?, según ha propuesto Planck últimamente. Lo más lógico sería suponer que la energía conserva siempre su discontinuidad, pero entonces es menester renunciar a la teoría clásica del campo electromagnético, que satisface a las ecuaciones de Hamilton. También es difícil explicarse el mecanismo de la absorción discontinua, y por ello Planck circunscribe la discontinuidad a la emisión, pero, a pesar de todo, las dificultades superan a la potencia de la ciencia actual.

Pudiera parecer lo más práctico, en vista de tanto escollo, buscar por otro camino la fórmula teórica de la distribución de la energía en el espectro; mas aparte de que hoy por hoy tal camino no se vislumbra, es necesario tener en cuenta que existen argumentos muy de otro orden que nos obligan a conservar los quanta. Entre estos es el más importante la conformidad casi absoluta de la fórmula de Einstein y mejor la de Nernst y Lindemann, con la ley de variación del calor específico, ley de la cual es caso límite la ley clásica de Dulong y Petit.”

Vemos que aunque el lenguaje empleado manifiesta aún cierta cautela, en la que además se capta todo el dramatismo inherente en el paso de la física clásica a la cuántica, Cabrera es ya consciente de que los experimentos demuestran la necesidad de aceptar la discontinuidad cuántica, y que ésta acarrea una ruptura fundamental con la electrodinámica clásica.

Este interés de Cabrera por los temas cuánticos que, por otra parte, irán también paulatinamente penetrando sus investigaciones en cuanto la estructura cuántica del átomo permitía explicar las propiedades magnéticas de la materia, se manifiesta asimismo en el hecho de que Cabrera comienza a elaborar, para los *Anales*, extractos de artículos publicados en otras revistas. Así, en 1913 redacta el extracto de un artículo de Lorentz titulado “Acercas de la teoría de los elementos de energía”, en el cual se generaliza la fórmula de Einstein de los calores específicos a casos de muchos vibradores con más de un período propio.

4.a El modelo atómico de Bohr

Como es sabido la idea de Rutherford, publicada en 1911, del átomo formado por un núcleo central cargado rodeado por electricidad del signo opuesto formando la corteza, había sido anticipada durante la primera década del siglo (Perrin 1901, Nogaoka 1904). Aunque esto no es excesivamente sorprendente, sí es curioso que en el año 1910, es decir, un año antes de la publicación de los resultados de Rutherford, esta idea fuera difundida en España.

En efecto, entre los párrafos del discurso inaugural que pronunció José Echegaray en el congreso de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias celebrado en Valencia en Mayo de 1910, encontramos el siguiente:

“... porque hoy gran número de físicos consideran al átomo de los cuerpos simples como un sistema complejo, como una especie de sistema solar en miniatura en que los átomos de electricidad negativa se agitan alrededor de otros átomos de electricidad positiva, como planetas alrededor del Sol.”

Cuando, dos años después de que Rutherford propusiera su modelo, Bohr publica en el *Philosophical Magazine* sus artículos, en los cuales, utilizando el modelo atómico de Rutherford, construye un nuevo modelo de átomo cuántico, esta revista inglesa ya se recibía en algunos centros de investigación. Concretamente, era una de las revistas de la que se extractaban artículos para su publicación en los *Anales*. No obstante, los artículos de Bohr no fueron extractados. Probablemente las hipótesis de Bohr se juzgaron demasiado discutibles.

No fue hasta el año siguiente, 1914, cuando apareció en los *Anales* la primera referencia al átomo de Bohr. Es un resumen de un artículo de Rutherford, redactado por Cabrera. Tras describir los experimentos de Rutherford, concluía así:

“Bohr... ha demostrado que las posiciones estables de los electrones externos no pueden ser deducidas de la mecánica clásica. Por la introducción de una concepción relacionada con el quantum de Planck, ha demostrado que en ciertas hipótesis es posible construir átomos sencillos y moléculas de electrones positivos y negativos, como por ejemplo, el átomo y la molécula de Hidrógeno y el átomo de Helio, que se conducen desde diferentes puntos de vista como los átomos y moléculas reales. Cualquiera que sea la opinión que se tenga sobre la hipótesis de Bohr, es innegable el interés de su concepción.”

Para que de esta etapa, en la que la hipótesis de Bohr “tiene un interés innegable”, se pase a otra en la que el átomo bohriano es generalmente aceptado, tuvieron que pasar algunos meses. Probablemente no sería hasta 1915, con los trabajos de Sommerfeld, cuando el Ateneo de Madrid, tuvo lugar un ciclo de conferencias en las que bajo el título general de “Estado actual, métodos y problemas de las ciencias”, se pretendía que los personajes más destacados dentro del panorama intelectual español en cada una de las especialidades científicas, expusieran los problemas más importantes que se encon-

traban planteados dentro de su campo y las líneas de investigación que se seguían. La correspondiente a la física fue encargada a Cabrera, quien en dos sesiones, celebradas el 24 y 31 de enero de 1915, elaboró una panorámica bastante completa del estado en que se encontraba la física por aquellas fechas¹².

Comenzaba Cabrera exponiendo cual era en aquellos momentos el problema fundamental que tenía planteado la Física.

“Las ciencias que han llegado al grado de perfección orgánica que la física posee, tienen en cada período de su historia un problema capital, en cuya solución aspiran a colaborar cuantos a ella dedican su actividad, problema que no es el único... pero que posee la inestimable ventaja de ser el fiel reflejo del espíritu científico de su época... En nuestros días el problema de la física ha cambiado de nuevo, y radica esta vez en desentrañar la estructura íntima de la materia.”

Tras esta introducción Cabrera desarrollaba su primera conferencia tratando los siguientes temas:

“Molécula y átomo: Sus dimensiones.— Electrón y su masa mecánica.— Constitución del átomo: modelo de J.J. Thomson.— Modelo atómico de Rutherford.— Constitución del núcleo atómico.— Propiedades magnéticas del átomo.”

Cabrera concluía esta primera conferencia con un párrafo muy significativo:

“Hemos visto ya todo lo que podemos saber respecto del núcleo atómico; bien poco indudablemente. En cambio la distribución de los electrones corticales es un problema más al alcance de la ciencia actual, que dispone del poderoso auxilio del espectro luminoso y de rayos X. Pero esto será materia de la próxima conferencia.”

Uno ve tras estas frases de Cabrera la justificación de la organización que poco a poco iría tomando el Laboratorio de Investigaciones Físicas (creado por la Junta de Ampliación de Estudios en mayo de 1910) y que culminaría en el Instituto Nacional de Física y Química, el “Rockefeller” (creado en 1932).

La segunda conferencia, pronunciada una semana más tarde, estaba dedicada, tal y como Cabrera había anunciado, a la cuestión de los espectros y se desarrolló según el siguiente esquema:

- Espectro de las radiaciones emitidas por los cuerpos
- Espectro de rayas
- El espectro y la constitución del átomo
- Teoría de las series espectrales de Bohr
- Espectro de rayos X
- Número atómico

Tras considerar los mecanismos clásicos de emisión, Cabrera llegaba al modelo de Bohr.

“... otro orden de consideraciones ha impuesto una total modificación de las ideas clásicas; ya dijimos que si el electrón describe una órbita cerrada, emite una onda luminosa, perdiendo por ende una cierta cantidad de energía

en cada revolución, de suerte que en un tiempo más o menos largo, se habrá consumido la cantidad de energía que tenía almacenada y quedará en reposo. Ahora bien, este tiempo es prácticamente tan pequeño, que es imposible interpretar la producción de los espectros de rayas, perfectamente definidas, que la experiencia nos suministra.

Felizmente, tal falla de estabilidad en el átomo... queda eliminada si se admite, para la radiación de energía por el átomo, la hipótesis de los quanta de emisión de Planck. El físico alemán ha demostrado que la única forma de interpretar teóricamente la distribución de energía en el espectro del cuerpo negro, es suponer que la energía sólo puede emitirse por cantidades que son múltiplos exactos de un 'quantum' o átomo de energía, cuyo valor, $h\nu$, es proporcional a la frecuencia, siendo $h = 6,57 \times 10^{-27}$ erg. s. Trasladando esta hipótesis a nuestro problema, el electrón, al describir su órbita, no emitirá energía en general, y por consiguiente la estabilidad está asegurada por lo menos para una cierta serie de configuraciones. Sólo en el tránsito de una de estas configuraciones a otra tendrá lugar la emisión de una onda..”

A continuación Cabrera señalaba que partiendo de esta idea fundamental se han formulado dos teorías diferentes del átomo. Refiriéndose a la de Bohr decía:

“Parte del átomo de Rutherford, y conduce a fórmulas para el radio de la órbita, potencial de ionización,... concordantes con los valores señalados.”

Indicaba también la concordancia entre el valor experimental de la constante de Rydberg y el que se deduce teóricamente de la teoría de Bohr, concordancia notable que indica cuan próxima a la realidad debe encontrarse la teoría de Bohr.

Es asimismo interesante reproducir el comentario que Cabrera hacía sobre un problema tan en boga entonces como el de los rayos X:

“Las propiedades de este espectro [*de rayos X*], su mayor fijeza e independencia de los agentes externos, llevan a pensar que se trata de electrones más próximos al núcleo que aquellos otros productores del espectro ordinario.”

A partir de este año, 1915, podemos distinguir dos cauces a través de los cuales discurren en España las ideas cuánticas. No obstante, es necesario ser cuidadoso al delimitar y evaluar el significado de estos cauces.

Por un lado, están las memorias, trabajos y exposiciones de carácter general de Cabrera. En lo que se refiere a las presentaciones generales hay que reconocer que, como en el caso de su labor como divulgador de la relatividad, Cabrera daba a sus audiencias una idea muy ajustada y general de los últimos desarrollos de la física cuántica. Ahora bien, en lo relativo a sus propias investigaciones hay que considerar: 1º que él era sobre todo un experimentalista; 2º que su área de especialización era el magnetismo, y 3º que entró en los temas relacionados con la teoría cuántica vía el magnetón de Weiss, una hipótesis en principio interesante pero que a la postre se vería relegada como unidad natural del momento magnético en favor del magnetón de Bohr. Todos estos factores llevaron a que, aunque Cabrera hiciera numerosas referencias a las hipótesis cuánticas para explicar resultados experi-

mentales, fueran los experimentos, naturalmente, y no la teoría los favorecidos por su obra. En este sentido fue un ejemplo más, el primero y más importante, y por esto mismo tal vez en una medida significativa responsable, de la falta de preparación y consiguiente incapacidad creadora en el campo teórico de los físicos españoles en la nueva física hasta, al menos, la ruptura que significó la guerra civil.

El otro cauce al que me refería antes lo constituyeron los miembros del grupo de espectroscopistas del Laboratorio de Investigaciones Físicas. Y aquí hay que hacer, como en el caso anterior, algunas precisiones. En primer lugar, hay que decir que la significación que este grupo tuvo para la física cuántica fue algo que se fue logrando con el tiempo, pero que no era evidente en un principio (uno estaría tentado de decir que tal vinculación sería, a la postre, inevitable, en tanto que “espectroscopía” y “teoría cuántica” llegaron, al ir avanzando el siglo XX, a estar unidas indisolublemente). Esto era, en realidad, una manifestación del hecho de la propia composición del grupo: químicos experimentales con poca formación en física cuántica. Así, si echamos una ojeada a la “Memoria correspondiente a los años 1914 y 1915” (publicada en 1916) de la Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas, vemos que lo que se dice de los “trabajos de Espectrografía” del Laboratorio de Investigaciones Físicas, es lo siguiente:

“Trabajos de espectrografía, bajo la dirección de D. Angel del Campo [*químico*].

En el curso general sobre métodos espectroscópicos trabajó D. Miguel Catalán, licenciado en Ciencias químicas.

a) Se estudió detenidamente el espectro de bandas que presenta el silicio en el arco eléctrico, buscando su origen y las condiciones químico-físicas en que se produce.

b) Bajo la dirección de D. Angel del Campo y D. Santiago Piña se hicieron estudios espectrográficos de minerales españoles y extranjeros, así como también de aguas minerales españolas.

Tomaron parte en ellos D. Pedro Castro, licenciado en Ciencias Naturales, y D. Alfredo Marín, licenciado en Medicina.

Concurrieron también al Laboratorio, para el estudio de algunos métodos, los Sres. D. Hipólito R. Pinilla, catedrático de Hidrología Médica de la Universidad Central; D. Manuel Blasco, profesor de Electrotecnia de la Escuela de Ingenieros Agrónomos, y el R.P. Filiberto Díaz, conservador del Museo de Ciencias Naturales.”

En la Memoria correspondiente a los años 1916-1917 (publicada en 1918) ya se comienzan a apreciar cambios significativos y que a la postre conducirían a los excelentes trabajos espectroscópicos de los años veinte, y en especial al descubrimiento de los multipletes a cargo de Catalán. Se lee, por ejemplo, en la memoria mencionada que “*el Sr. Del Campo continuó sus investigaciones acerca del espectro de bandas de silicio en el más extremo ultravioleta, y empezó el estudio de algunas particularidades del mismo, así*

como del de rayas, desde el punto de vista de su ordenación en series.” De Miguel Catalán se dice que “estudió las condiciones físico-químicas en que se producen las series espectrales del magnesio y completó asimismo las series de otros metales”. Santiago Piña, el otro miembro importante del grupo se ocupaba, por su parte, “en estudiar los espectros de diversos minerales platiníferos españoles y extranjeros, así como en revisar y completar los espectros de diversos metales en la región ultravioleta comprendida entre 1980 y 2300 U.A.”

Un dato interesante a mencionar es que, por lo que sabemos, durante el lustro 1915-1920 en los trabajos –insistimos que exclusivamente experimentales– de estos espectroscopistas no se hacía referencia alguna a la teoría de los espectros basada en el modelo atómico de Bohr; se limitaban a dar cuenta del descubrimiento de nuevas rayas espectrales, sistematizando y tabulando los espectros de distintas sustancias.

Por lo que se refiere a la sección de extractos que se venía publicando en los *Anales de la Sociedad Española de Física y Química*, y que hasta entonces había contribuido de modo importante a la difusión de los últimos desarrollos de la física, experimenta a partir de 1915 una disminución de actividad notable. Por causa de la Primera Guerra Mundial, surgen importantes dificultades en las comunicaciones que impiden que las publicaciones que se utilizaban para realizar los extractos se reciban con suficiente regularidad. Por este motivo los responsables de los *Anales* deciden sustituir esta sección por otra, “consistente en disertaciones que dan cuenta bien razonada del estado actual y de los antecedentes de aquellas cuestiones más interesantes de la física.” Los extractos no volverían a publicarse hasta 1918, aunque según se indica “el número de revistas sigue siendo escasísimo” y “persistiendo aún la interrupción de comunicaciones postales con algunos países, los resúmenes de trabajos alemanes, austriacos y rusos, sólo pueden hacerse utilizando los que de éstos publican las revistas inglesas y americanas.”

En esta nueva sección publicó Cabrera en 1915 dos trabajos largos, de síntesis y puesta al día. Uno, sobre el “Estado actual de la teoría del magnetismo”, y otro sobre el “Estado actual de la teoría de rayos X y γ , su aplicación al estudio de la estructura de la materia”. Se describía con detalle la teoría de Bohr y las referencias a los cuantos ya constantes.

Con el mismo título, “Estado actual de la teoría del magnetismo”, pronunció Cabrera una conferencia en la Universidad de Valladolid durante el Congreso de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias celebrado en octubre de 1915. Allí volvía a insistir en la incompatibilidad manifiesta que existía entre la electrodinámica clásica y el modelo atómico de Bohr.

Durante 1916, Cabrera continuó desarrollando en los *Anales* su trabajo sobre “Estado actual de la teoría del magnetismo”, con la publicación de

dos capítulos nuevos: "Paramagnetismo: su variación con la temperatura" y "Paramagnetismo y composición química. Teoría de los magnetones", donde se habla ya de la cuantificación de la integral de acción, idea que, introducida por Sommerfeld en 1911, tuvo su desarrollo más fructífero al aplicarla al modelo atómico de Bohr. Nótese que la idea de la cuantificación de la integral de acción había sido presentada en los *Anales* en 1912, en el extracto de la comunicación de Sommerfeld firmado por Terradas del que ya hablamos con anterioridad.

También en 1916 Catalán publica sus trabajos sobre "Nuevas rayas halladas en el espectro del magnesio", aunque sin hacer todavía referencia a la teoría de los espectros. Asimismo aparecen estudios experimentales de Pedro Carrasco ("El espectro de líneas de la corona solar"), Santiago Piña ("Estudio espectroquímico del platino nativo") y Cabrera ("Magnetoquímica de las sales de cobalto").

Otro suceso que tuvo lugar en 1916 y que conviene destacar es la marcha, en plena guerra mundial, de Julio Palacios, quien desde abril de aquel año era catedrático de Termología en la Facultad de Ciencias de Madrid, al laboratorio de Kamerlingh Onnes en Leiden (Holanda), entonces el centro más importante en el tema de bajas temperaturas (allí se había conseguido licuar por primera vez, en 1908, el helio y se había descubierto, en 1913, la superconductividad). Palacios permaneció allí hasta el final de la contienda, realizando trabajos sobre las isoterms del neón a bajas temperaturas, en colaboración con C.A. Crommelin y el propio Kamerlingh Onnes. El fruto de esta colaboración constituiría la primera publicación científica de Palacios¹³.

En Leiden, Palacios no sólo se dedicó a investigar en el laboratorio de Kamerlingh Onnes sino que también siguió los cursos de Física Teórica de Lorentz y los coloquios de Ehrenfest. Ahora bien, no cabe duda de que en aquella época en Leiden el cuanto era uno de los temas más tratados (Ehrenfest, en particular, fue uno de los primeros físicos en comprender, y aceptar, las radicales consecuencias de las hipótesis cuánticas).

Palacios, antiguo estudiante de Terradas, recordémoslo, no perdió tiempo en dar publicidad a la física cuántica. El 9 de septiembre de 1919 presentó una comunicación, firmada con Crommelin y titulada "Sobre el estado superconductor de los metales", al Congreso de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias celebrado en Bilbao. Tras exponer los resultados experimentales pasaba a discutir la teoría de Drude referente a la conductividad eléctrica de los metales, señalando que ésta y otras teorías análogas no eran capaces, ni aún cualitativamente, de explicar la desaparición de la resistencia de los metales a la temperatura del helio, y continuaba:

"Para resolver esta y otras dificultades, se ha tratado de relacionar la teoría de la conductividad eléctrica con la célebre teoría de los cuantos de Planck."

Daba cuenta después de las primeras teorías que, basadas en consideraciones semiempíricas, semiteóricas, y guiadas por la analogía existente entre el comportamiento del calor específico y de las resistencias de los metales a bajas temperaturas, habían elaborado Nernst, Lindemann, el propio Kamerlingh Onnes y Wien. Exponía también la teoría de J.J. Thomson y terminaba su conferencia con este acertado comentario:

“El hacer una elección entre todas estas teorías, es, por ahora, imposible, y se siente verdadero desaliento al ver cómo en todas ellas existen dificultades insuperables. Un hecho resulta, sin embargo, y es que, lo mismo que en otras regiones de la física, la misteriosa teoría de los quanta parece ser la llamada a allanar todos los obstáculos (excepto los que se refieren a ella misma).”

5. CONCLUSIONES

Aun a riesgo de efectuar un corte demasiado brusco vamos a terminar nuestra narración aquí, justo en el momento en el que iba a comenzar una década que vería cambios cualitativamente significativos. Una década en la que se establecerían una serie, no muy numerosa, cierto es, de contactos internacionales que darían mayor solidez a la física española. Si se quiere resumir la situación existente hasta entonces habría que mencionar los siguientes puntos:

– La penetración en España, vía extractos o puestas a punto, de la avalancha de artículos cuánticos publicados en Europa y América durante la segunda década del siglo, no deja lugar a dudas sobre la validez de las hipótesis cuánticas, que rápidamente van extendiendo su aplicación a distintos campos de la física. Existe, no obstante, conciencia de los problemas internos que la propia teoría tenía planteados.

– El grupo de espectroscopistas del Laboratorio de Investigaciones Físicas va consolidándose, aunque su labor sea puramente experimental y sus conexiones internacionales escasas o nulas.

– Tan sólo en los trabajos de Blas Cabrera aparecen, junto a sus resultados experimentales, referencias a las hipótesis teóricas basadas en la teoría de los cuantos que pueden explicar sus resultados experimentales.

– Blas Cabrera, a través de sus artículos y conferencias, toma el relevo de Terradas y se convierte en el principal difusor en España de la teoría cuántica, especialmente del modelo atómico de Bohr.

NOTAS

1. El tratamiento de Terradas y la teoría cuántica repite en gran parte lo ya discutido en A. Roca, “L'Impacte de la Hipòtesi Quàntica a Catalunya” en *El científico español ante su Historia*, S. Garma, ed., págs. 383-387 (Diputación provincial de Madrid 1980).

2. También existieron unas "Notas alemanas de química" debidas asimismo a Mecklenburg. El origen de estas notas se puede trazar (ver A. Moreno, "La Real Sociedad Española de Física y Química y sus 'Notas de Enseñanza'" en *Didáctica de la Física y la Química*, Simposio celebrado con motivo del 75 Aniversario de la Real Sociedad Española de Física y Química [INCIE, Madrid 1979], págs. 137-144) a través de una comunicación aparecida en los propios *Anales* (26-3-1905): "Se acuerda que para aumentar el interés de los Anales, desde el número correspondiente a esta sesión, se publicará un resumen de los trabajos de Física o Química más importantes y recientes efectuados en Alemania. Se encargará de ello el distinguido químico alemán Sr. Mecklenburg, a quién la Sociedad en general y cada socio en particular tiene que agradecer la publicidad que da constantemente en su país a los trabajos insertos en Anales." Las "Notas alemanas" fueron un vehículo muy importante de comunicación con Alemania. Se publicaron casi 300.
3. *Actas del Congreso de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias* (Zaragoza, 1908).
4. T.S. Kuhn, *La teoría del cuerpo negro y la discontinuidad cuántica, 1892-1912* (Alianza, Madrid 1980), pág. 229.
5. Kuhn, *op. cit.* pág. 228.
6. J. Palacios, "Terradas, físico", en *Discursos pronunciados en la sesión necrológica en honor del Excmo. Sr. D. Esteban Terradas e Illa*, (Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Madrid 1951).
7. J.M. Sánchez Ron, "Documentos para una historia de la física moderna en España: Arnold Sommerfeld, Miguel Angel Catalán, Angel del Campo y Blas Cabrera", *Llull* 5, 97-109 (1983).
8. Para una discusión de este trabajo de Einstein véase, J.M. Sánchez Ron, *El origen y desarrollo de la relatividad* (Alianza, Madrid 1983), capítulo 7.
9. La desaparición fue voluntad de Mecklenburg, quien agobiado por otras obligaciones pidió repetidamente que se le relevara de esta misión.
10. Esta lista se encuentra en el volumen titulado *En el centenario de Blas Cabrera*, págs. 607-623 (Universidad Internacional de Canarias "Pérez Galdós", s.f.).
11. En los congresos de Valencia (1910) y Granada (1911) no se hizo referencia alguna a las hipótesis cuánticas.
12. B. Cabrera en *Estado actual, método y problemas de la ciencia* (Ateneo de Madrid 1916).
13. C.A. Crommelin, J. Palacios, H. Kamerlingh Onnes, "Isothermen van eenatomige stoffen en hunne binaire mengsels. XIX. Isothermen van neon van + 20°C. Tot - 217°C", *Natuurkunde* (29 Junio 1918). Este artículo se publicó también traducido al inglés y al castellano.