

# TERRADAS Y LA TEORÍA CUÁNTICA EN ESPAÑA

TERRADAS AND THE QUANTUM THEORY IN SPAIN

Carlos Gámez Pérez

*Las nuevas concepciones de la física teórica del siglo xx, la física y la mecánica cuántica fueron conocidas y asimismo divulgadas en nuestro país por Terradas. Este artículo destaca cuál fue su posicionamiento ante esta nueva ciencia y los múltiples canales que utilizó para su difusión, desde las comunicaciones a congresos, a la edición de libros o impartiendo clases y conferencias.*

*The new concepts of Theoretical Physics in the 20th century, quantum physics and mechanics were known and spread in our country by Terradas. This article points up his approach to this new science and the different channels he used to disseminate it, from communication in conferences, to the edition of books or teaching and talks in conferences.*

Entre las numerosas actividades que ocuparon la vida de Esteve Terradas, en este artículo trataremos de su interés por la física teórica, en especial la mecánica cuántica, principalmente a través del curso que impartió en la Academia Militar de Ingenieros Aeronáuticos de Madrid, con el título de *Lecciones sobre física de materiales sólidos*, publicado por la Academia entre 1943 y 1945 en forma de tres fascículos, dos aparecidos en 1943 y un tercero en 1945.

La física teórica es una rama de la física en la que la matemática desarrolla un papel principal. Durante sus años de formación como físico, Terradas ya destacaba por tener una clara visión matemática de la física. Posteriormente, en su orientación como científico tuvieron una importante influencia físicos como el alemán Paul Drude y el francés Henri Poincaré, que formaban parte de la llamada *vía fenomenológica*, que pretendía evitar las hipótesis y derivar la física de una serie de modelos matemáticos que daban lugar a un sistema de ecuaciones, cuya solución debía contrastarse con la experiencia (Roca, 1991; Roca y Sánchez Ron, 1990).

En lo que respecta a la mecánica cuántica, comenzaremos hablando de su antecesora, la física cuántica, consecuencia de las leyes de Planck. Entre 1897 y 1906, Max Planck elaboró sus teorías sobre la radiación del cuerpo negro, de las cuales destaca la llamada *ley de Planck*. Esta ley considera que la radiación se distribuye en forma de paquetes de energía. De las teorías de Planck se derivaban, gracias a la contribución de otros científicos como Einstein o Lorentz, nuevos conceptos que revolucionaron la física de su tiempo y que dieron lugar a la nueva física cuántica (Kuhn, 1980; Pais, 1986).

El primer contacto de Terradas con la física cuántica tuvo lugar en el II Congreso Internacional de Matemáticos que se celebró en Roma del 5 al 12 de abril de 1908. En aquel Congreso, Terradas presenció una conferencia del reputado físico holandés Hendrick A. Lorentz sobre las nuevas teorías de la radiación, en la que se explicaba el interés de las hipótesis de Planck. A partir de esta conferencia, Terradas se interesó por los trabajos de Planck, estudiándolos en profundidad y convirtiéndose en un admirador de su obra (Roca, 1991; Roca y Sánchez Ron, 1990).

Después del Congreso de Roma, Terradas hizo diversas contribuciones para dar a conocer las teorías de Planck en España. En este sentido presentó en el primer Congreso de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias, organizado en Zaragoza en octubre de 1908, dos comunicaciones que constituyen el primer caso de difusión de las teorías cuánticas en España (Roca, 1980 y 1990; Roca y Sánchez Ron 1990; Sánchez Ron, 1987). La primera de estas comunicaciones se titulaba «Sobre la mecánica estadística» y la segunda «Teorías modernas sobre la emisión de la luz».

Otra de las contribuciones de Terradas para difundir las ideas cuánticas fue su discurso de entrada en la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona, leído en marzo de 1909 (Roca, 1991). En el discurso, publicado por la misma Academia con el título «Sobre la emisión de radiaciones por cuerpos fijos o en movimiento», Terradas habla de *quantums* de energía y explica que las leyes postuladas hasta entonces sobre el cuerpo negro no concuerdan con la experiencia y deben replantearse, o criticarse los experimentos realizados hasta entonces. Terradas comenta que la única teoría que se adapta a la experiencia es la ley de Planck, pero también explica que esta ley suponía una concepción revolucionaria respecto a las teorías de la radiación existentes entonces.

Una de las contribuciones más destacadas de la nueva física cuántica fue el modelo atómico de la materia, al cual, entre otros, hicieron importantes aporta-

ciones físicos como Rutherford y Bohr, durante los años 1911 a 1913. Estas nuevas contribuciones de la física cuántica interesaron profundamente a Terradas. De hecho, Roca (1991) considera a Terradas más como un físico *atomista* que como un físico cuántico o relativista. Las evidencias de la realidad física del átomo que influyeron en Terradas provenían no sólo de la física cuántica, sino también de teorías como la del movimiento browniano o la teoría cinética de gases de Boltzmann. La discusión sobre el atomismo ocupó importantes debates científicos y filosóficos en las primeras décadas del siglo XX (Roca, 1991).

Esta visión atomista de la materia y una influencia más grande de la física cuántica se pueden observar en el artículo de Terradas de 1911, titulado «Sobre la constante de Avogadro-Lodgschmidt», aparecido como apéndice del libro del profesor de la Escuela de Ingeniería Industrial J. Mañas Bonví, *Química general inorgánica y orgánica*. Terradas utiliza en este artículo la mayoría de las teorías defensoras del carácter atómico de la materia para calcular la constante de Avogadro (Roca, 1991; Terradas, 1911).

A partir de 1916, la labor de Terradas en relación con la física cuántica se centró en la divulgación. En este sentido mencionaremos su trabajo como editor de la colección de traducciones de obras científicas, Biblioteca Contemporánea de Ciencias de la Editorial Calpe, en la cual aparecieron libros como el de Reiche *Teoría de los cuanta* y la *Termodinámica* de Planck (edi-

## Carlos Gámez Pérez



Licenciado en ciencias físicas por la Universidad de Barcelona, cursa estudios de doctorado en el Centro de Estudios de Historia de las Ciencias (CEHIC) de la Universidad Autónoma de Barcelona, donde actualmente realiza un trabajo de investigación sobre la física teórica española durante el franquismo. Es profesor de matemáticas en la Enseñanza Secundaria para la Generalitat de Catalunya.

2082640@campus.uab.es

ción alemana de 1921) traducidas ambas por Julio Palacios (Roca, 1991).

Hay que mencionar también la labor hecha por Terradas en la organización de conferencias dentro de los Cursos Monográficos de Altos Estudios y de Intercambio con la presencia de físicos de prestigio internacional como Einstein (1923), Sommerfeld (1922) o Weyl (1921) (Roca y Sánchez Ron, 1990). El mismo Terradas había iniciado estos cursos el año 1915 con unas conferencias sobre «Análisis de la noción de discontinuidad a las teorías de la materia y la radiación».

De carácter especial fueron las contribuciones relacionadas con la física teórica hechas por Terradas en la Enciclopedia Espasa-Calpe, como las voces QUANTA, TEORÍA DE LOS (1922), RADIACIÓN (1923) y MECÁNICA ESTADÍSTICA (1933) (Roca, 1987; 1991). En ellas se observa de nuevo la importancia que Terradas otorga al carácter discreto de la materia: en RADIACIÓN se habla de atomismo desde la perspectiva de la física cuántica, mientras que en MECÁNICA ESTADÍSTICA se trata de atomismo clásico desde el punto de vista de Boltzmann y se estudian ejemplos concretos, como la distribución de las partículas en la atmósfera en función de la altura.

### **Terradas, la mecánica cuántica y la física nuclear durante el primer franquismo**

La mecánica cuántica se desarrolló a partir de 1925 de la mano de Heisenberg, Dirac, Born, Jordan, Bohr y Schrödinger. Esta teoría suponía una síntesis

teórica de los experimentos espectroscópicos derivados de la física cuántica y la interpretación mecánica de los fenómenos microscópicos. El carácter probabilístico y la pérdida de determinismo en el sentido clásico del término que introducía la teoría provocó importantes discusiones en los ámbitos culturales, ideológicos, políticos y historiográficos que la han hecho muy conocida (Forman, 1984; Jammer, 1989; Pais, 1986).

El grado de conocimiento de la nueva mecánica cuántica por parte de Terradas no parece haber sido en un principio muy profundo, pues su carrera profesional estuvo encaminada aquellos años a otros intereses no centrados específicamente en la física teórica, como eran la dirección y gestión de proyectos de ingeniería o la investigación en otros campos de la física, la matemática y la ingeniería más aplicados (Roca, 1991; Roca y Sánchez Ron, 1990).

No será hasta principios de la década de los cuarenta cuando Terradas manifieste su profundización en las nuevas contribuciones de la mecánica cuántica, en relación con las tareas que le encomendó el

Gobierno de Franco a su vuelta de Argentina, donde había residido desde 1936 hasta 1941. Este retorno había sido impulsado por el general Vigón, miembro destacado del gobierno franquista. Entre otras cosas, se concedió a Terradas la Cátedra de Física Matemática de la Facultad de Ciencias de Madrid, donde impartió diversos cursos sobre teoría cuántica. Un tercio del curso de física matemática de la Cátedra se dedicaba a estudiar la teoría cuántica del cuerpo sólido (Roca y Sánchez Ron, 1990).

La Cátedra, correspondiente al doctorado, estaba estructurada como un seminario, el Seminario de



Estudios Superiores de Física y Matemáticas. Se impartían cursos de doctorado y conferencias sobre mecánica cuántica, nucleónica y física de partículas elementales, con exposiciones de los mismos alumnos y de profesores invitados. En este entorno, Terradas formó colaboradores que posteriormente serían miembros destacados de la física del franquismo, como Carlos Sánchez del Río, María Aranzazu Vigón –hija del general– o Ramón Ortiz Fornaguera (Roca y Sánchez Ron, 1990).

También se vuelve a observar la huella de Terradas en labores de difusión, como en la traducción del libro de Von Neumann, *Matematische Grundlagen der Quantenmechanik* en 1949, libro que se convertiría en un clásico sobre la fundamentación matemática de la mecánica cuántica. Se da el caso que apareció la traducción en castellano antes que en inglés y francés. La traducción corrió a cargo del anteriormente mencionado Ortiz.

## Las lecciones en la Escuela Militar de Ingenieros Aeronáuticos

Una de las manifestaciones más claras del esfuerzo de Terradas por conocer el desarrollo de la mecánica cuántica fue la elaboración y posterior impartición de un curso de física de sólidos para la Academia Militar de Ingenieros Aeronáuticos. Terradas había sido profesor en la antigua Escuela Superior Aerotécnica y en 1942 había sido nombrado presidente del Patronato del INTA (Instituto Nacional de Técnica Aeronáutica) a instancias del general Vigón, por entonces ministro del Aire.

En la Escuela de Aerotécnica de antes de la Guerra Civil, dirigida por Emilio Herrera, se había establecido que los profesores fueran científicos expertos en diferentes materias, independientemente de que fuesen o no ingenieros aeronáuticos. El jefe de Estudios de la Escuela después de la guerra, Antonio Pérez Marín, pidió por carta, de diciembre de 1940, la colaboración de Terradas apelando al estilo de la antigua dirección (Roca y Sánchez Ron, 1992).

Las lecciones publicadas del curso de mecánica de sólidos que impartió Terradas podrían ser las primeras

lecciones de mecánica cuántica impartidas y publicadas en España en esta temática. Ésta ya sería razón suficiente para su estudio, pero, además, en una aproximación al contenido de estas lecciones, podemos observar los conocimientos de Terradas en mecánica cuántica.

Por otra parte, todo indica que las lecciones de Terradas, al ir dirigidas a ingenieros militares, no tuvieron apenas trascendencia en el pequeño mundo académico de la física española de la época.

Otra cosa es el alto nivel de los contenidos presentados, que no sólo pretendía dar una sólida formación a los futuros ingenieros aeronáuticos, sino que los quería preparar para la investigación. Precisamente, la política de la Escuela Militar de Ingeniería Aeronáutica de que los mejores científicos españoles participasen en la docencia, buscaba una preparación de alta calidad para sus alumnos. Por otro lado, buena parte de los temas que aparecen en las *Lecciones* se trataban en el Seminario de la Universidad de Madrid, como la teoría del espín o la interpretación geométrica de la mecánica cuántica, lo que muestra la relación entre las actividades del seminario y el contenido de las *Lecciones*. El alto nivel del texto de Terradas quedaría justificado por su doble utilización, en una escuela de ingeniería con planteamiento de investigación y en las actividades de los cursos de doctorado de la Cátedra de Física Matemática.

### *El contenido de las lecciones*

Las lecciones comienzan con una «Exposición preliminar» que abarca todo el primer cuaderno. Esta lección hace de introducción general de los contenidos del curso, aunque ya aparecen algunos conceptos importantes de mecánica cuántica.

Las *Lecciones* continúan en una segunda parte con lo que Terradas llama «Lecciones de introducción». En la primera de estas lecciones se comenta la naturaleza de los fenómenos físicos, a la vez individual y colectiva, a causa de la existencia de multitud de elementos discretos. Esto da lugar a la necesidad de estudiar las diferentes teorías de mecánica estadística, a lo que dedica las tres lecciones siguientes, de la 2 a la 4.

Posteriormente, Terradas utiliza los conocimientos presentados para aplicarlos al estudio de las propie-

dades de los sólidos en otro bloque que abarca de la lección 5 a la 9, en las que trata los calores específicos de los sólidos, las zonas de Brillouin para sólidos, las conductividades eléctrica y calorífica de los metales, las propiedades magnéticas y algunos tratamientos clásicos para sólidos. Este bloque parece un curso intensivo de estado sólido, que precisamente fue una de las aplicaciones de la mecánica cuántica que más se desarrolló internacionalmente después de la Segunda Guerra Mundial, lo que muestra su visión de futuro y su perspectiva, muy al día, de la física (Kragh, 1999).

A partir de la lección 10 empieza un bloque más teórico, enfocado a la metodología de la mecánica cuántica. La lección 10 trata de los principios y propiedades fundamentales de la mecánica cuántica. La lección 11 está dedicada casi exclusivamente a repasar el concepto de espín. En la lección 12, aplicando la teoría, Terradas muestra la resolución de la ecuación de Schrödinger para el átomo de hidrógeno; posteriormente se comparan los resultados obtenidos con las medidas experimentales.

Aquí finaliza el segundo cuaderno de las *Lecciones*. Los dos cuadernos comentados tienen como fecha de publicación el año 1943. Dos años después, en 1945, se añadió la lección 13, titulada «Diversas fases en el planteo de un problema de mecánica cuántica». Como su propio nombre indica, es una lección dedicada por completo a la metodología que se ha de utilizar para resolver problemas en mecánica cuántica, que faltaba en la edición inicial.

La última frase de la lección 13, incluida dentro de un apéndice, dice: «Otras propiedades de las funciones esféricas y bibliografía se hallarán más adelante». Esto indica que la intención de Terradas quizá fuese la de extender el contenido de las *Lecciones* más adelante. Sin embargo, no hemos encontrado nada que fuese continuación de estas lecciones.

#### *La bibliografía como indicador*

Uno de los referentes más interesantes para estudiar el nivel de actualidad del conocimiento de Terradas en mecánica cuántica consiste en analizar la bibliografía indicada en las *Lecciones*. Terradas solía incluir una bibliografía muy extensa en todas sus publicaciones y

esta característica también se da en las *Lecciones*, en las que la cantidad de referencias es muy abundante, llegando a cerca de las doscientas.

Respecto a las fechas de edición de dichas referencias, una parte importante de ellas está datada en la década de los treinta, aproximadamente un 35 % del total. Teniendo en cuenta la dificultad de conseguir obras de referencia en España en un período tan cercano a la Guerra Civil, resulta plausible afirmar que Terradas conocía estas obras gracias a una investigación bibliográfica personal con la intención de estar al día en las nuevas contribuciones de la mecánica cuántica. El interés de Terradas por las novedades bibliográficas llega en algunos casos a los primeros años cuarenta, obras contemporáneas a las *Lecciones*, con el 8 % aproximadamente del total de obras citadas.

A esta abundancia de bibliografía contemporánea contribuyeron los viajes que Terradas hizo en su vida a países como Alemania, Francia o Reino Unido, durante los cuales aprovechaba para adquirir, copiar y reseñar artículos y libros científicos de publicaciones recientes.

Pese a la bibliografía básica y extensa que figura en casi todas las lecciones, debemos destacar la ausencia de ésta en las lecciones 10 y 13. Hay que comentar que tratan de los fundamentos teóricos y de la resolución de problemas en mecánica cuántica respectivamente, es decir, las dos lecciones más metodológicas. Da la impresión de que el contenido de estas lecciones formase parte de apuntes de Terradas sobre mecánica cuántica, apuntes relacionados probablemente con las actividades y contenidos desarrollados en el Seminario de la Cátedra de Física Matemática, donde las bases metodológicas de la mecánica cuántica, tanto la teoría como la resolución de problemas, tenían que quedar claras.

Por lo que respecta a una clasificación por temáticas de la bibliografía, destacaremos primero la presencia de artículos fundamentales en la historia de la mecánica cuántica y obras de autores muy destacados de la historia de la física como Born, Bose, De Broglie, Dirac, Einstein, Fermi, Heisenberg, Levi-Civita, Lorentz, Pauli, Planck, Schrödinger, Sommerfeld, Von Neumann o Weyl, entre otros. De estas menciones, cabe remarcar la lista de científicos que con el tiempo se habían convertido en amigos o conocidos de

**«Terradas preparaba a sus alumnos de forma completa respecto a bibliografía y para que adquiriesen hábitos propios de la investigación científica.»**

Terradas gracias a la organización de conferencias en Cataluña y España, la presencia de Terradas en congresos internacionales y los contactos derivados de diferentes relaciones institucionales, como eran los casos de Einstein, Levi-Civita, Sommerfeld y Weyl.

Otro gran bloque de la bibliografía lo conforman revistas, colecciones de libros y otras monografías en física. Se trata de publicaciones no sólo de mecánica cuántica, sino también de estructura de los sólidos, mecánica estadística, estado sólido y temáticas afines, lo que muestra que Terradas se documentó, además de mecánica cuántica, de sus aplicaciones, cosa coherente con el objetivo de las lecciones.

También aparecen dentro de la bibliografía todas las referencias posibles a autores españoles y traducciones en castellano, lo que indica que Terradas estaba al día de la actualidad científica española. Junto a estas referencias, aparecen traducciones en otros idiomas de obras importantes.

La referencia a traducciones en diferentes idiomas, la referencia a revistas, enciclopedias y colecciones y la presencia de obras consideradas fundamentales en la historia de la mecánica cuántica nos permiten concluir que Terradas preparaba a sus alumnos de forma completa respecto a bibliografía y de manera que tuviesen adquiridos hábitos propios de la investigación científica. Hablamos de investigación científica en el sentido actual del término, con la necesidad de leer revistas de investigación, consultar manuales recientes, dominar diversos idiomas para consultar bibliografía, etc.

#### *La visión de Terradas de la mecánica cuántica*

En las *Lecciones* se observa la perspectiva corpuscular de la materia, que había influido a Terradas ya tiempo atrás, desde sus discusiones sobre atomística. El desarrollo de la concepción discreta de la materia llevó a la física atómica y subatómica a trabajar mediante la mecánica estadística con colectividades de partículas. Esta evolución también fue asimilada por Terradas.

Por lo que respecta a la metodología utilizada por Terradas al presentar la mecánica cuántica, consiste en hacer un planteamiento matemático inicial para, con posterioridad, extraer las interpretaciones físicas. Esto se puede ver especialmente en la lección 10, donde se

presentan los postulados. El planteamiento se inicia desde una perspectiva intuitiva, a partir de las variables observables del sistema, en el sentido en que elaboró Heisenberg su mecánica matricial, para después construir una base teórica de fuerte carga matemática. Se comenta la relación que ha de tener esta nueva mecánica cuántica con la mecánica clásica: «Cualquiera que sea el esquema teórico, debe ser reductible al de la mecánica clásica de Newton como caso límite».

La culminación de la metodología de Terradas sobre mecánica cuántica se puede observar en la lección 13. Esta lección explica que la primera fase del planteamiento de un problema de mecánica cuántica (página 115): «Es *a priori*. Se parte de una imagen mecánica ideal del problema que se estudia. Para obtenerla se acude a la experiencia de casos semejantes». En la segunda fase se explica que de la imagen de la primera fase se ha de pasar a la ecuación de Schrödinger para (página 118): «Resolverla teniendo en cuenta las condiciones en los límites». Como esta resolución normalmente no es sencilla, se justifica la necesidad de trabajar con aproximaciones contrastables. Las fases tercera y cuarta consisten en transformar los resultados obtenidos para poder contrastarlos con las medidas experimentales.

Por lo dicho anteriormente, querríamos comentar la relación que existe en las *Lecciones* entre mecánica cuántica y realidad física. Ya en la exposición preliminar se dice que las teorías de la mecánica cuántica: «Han permitido idear imágenes atribuibles a los átomos, que, *sin pretender realidad física absoluta*, alcanzan a calcular multitud de propiedades al modo sintético».<sup>1</sup> Da la impresión que Terradas tenía una visión de la mecánica cuántica muy pragmática como teoría que no describe la realidad, pero que nos permite conocer muchas cosas de nuestros objetos de estudio. Esta visión pragmática es la que hace servir para explicar la imagen que se tiene del átomo.

La misma mentalidad se observa ya en la lección preliminar, cuando se enuncia el principio de incertidumbre de Heisenberg y se comenta que (página 9): «La frase 'velocidad de un electrón' (fotón, neutrón, etc.) no puede tener sino un valor figurado, convenido, fuera del literal».

En la lección 10, cuando se explica que la función del problema se elabora *a priori*, también se comenta que

esta función «puede no tener interpretación física», juicio que se reitera en la primera fase de la lección 13 cuando se calcula esta función para el átomo de hidrógeno.

En la justificación de las fases 3 y 4 de la resolución de problemas de la lección 13 se comenta que (página 119): «La fase tercera y la fase cuarta pretende lograr la posibilidad de contraste de la teoría formulada en las dos primeras fases con la realidad. La realidad es, por ejemplo, la observación de las rayas del espectro de gases incandescentes, la serie discreta de sus longitudes de onda o frecuencias, las intensidades relativas, su amplitud total, la ley de variación de la intensidad de la raya según su frecuencia, etc.».

Más tarde, utiliza la interpretación probabilística para dar sentido a las magnitudes físicas y conectarlas con su perspectiva de «realidad».

Es destacable el énfasis que Terradas pone a la relación entre teoría y experiencia. En este sentido es interesante observar el párrafo siguiente que aparece al principio de la tercera fase de la misma lección 13 (página 119): «La espectrometría de gases incandescentes ofrece, en efecto, un modo, relativamente el más sencillo, para contrastar y guiar la teoría de la materia. Si una teoría explica con singular pormenor la espectrometría, si es capaz de predecir el resultado de determinados experimentos, como, por ejemplo, la influencia del campo magnético sobre las rayas de emisión y absorción, aún cuando ofrezca efectos anómalos, no cabe duda que se halla en excelentes condiciones para emplearla en el estudio de fenómenos menos sencillos. Tales son, por ejemplo, los que se refieren a agrupaciones atómicas y moleculares, al estado cristalino, etc., etc.».

La relación entre teoría y experiencia en el conocimiento científico también se resalta en otros escritos de Terradas, de los cuales destacaremos el discurso titulado «Las ciencias y las armas», pronunciado el 30 de abril de 1949 en la clausura de los actos de celebración del primer centenario de la Real Academia de Ciencias de Madrid. En este discurso, Terradas (1949, página 22) explica que «el método de estudio denominado científico consiste en partir de la observación para deducir la ley, encuadrarla en una teoría y comprobarla en todas sus consecuencias lógicas. La comprobación conduce a nuevas observacio-

nes que, a su vez, modifican, alteran o generalizan la ley y abren mayores horizontes a la teoría».

Terradas destaca el papel de las construcciones teóricas en el desarrollo intelectual (página 27): «Estos admirables resultados [...] certifican el éxito del método científico de análisis, ya que sus consecuencias, deducidas en pura lógica de hipótesis apriorísticas, son realidades tangibles, descubiertas *a posteriori* de la abstracción que las engendra».

Sin embargo, no olvida la relación entre las construcciones abstractas y apriorísticas de la ciencia y la realidad tangible: «Fuera locura pretender descubrir toda realidad por un proceso mental que partiera exclusivamente de apriorismos y postulados. Se necesita la observación para fijar la actividad del entendimiento y para seleccionar los hechos en que haya de ocuparse».

## Conclusiones

A modo de conclusión comentaremos que en las *Lecciones* se observa que Terradas presenta de manera natural concepciones tan complejas como los postulados de la mecánica cuántica, el carácter corpuscular de la materia, la interpretación de las probabilidades o las funciones de onda. Esto tiene su mérito si tenemos en cuenta las discusiones de carácter filosófico e ideológico que originaron todas estas cuestiones en su momento, discusiones que versaron sobre el realismo de la física y la posible acausalidad de la mecánica cuántica y donde

intervinieron los pilares de la comunidad internacional de físicos, como Heisenberg, Schrödinger, Bohr, Born, Einstein o Planck (Forman, 1984; Jammer, 1989; Pais, 1986).

El punto de vista de Terradas sobre estas cuestiones es el de un atomista, alguien convencido de la composición atómica de la materia, y el de un físico matemático que ve las teorías de la mecánica cuántica desde una perspectiva pragmática y las acepta en función de una correcta contrastación con los experimentos. Hemos de recordar, en este punto, las influencias en la formación de Terradas de físicos como Boltzmann, Kirchoff o Poincaré. También hay que tener presente la perspectiva heurística que había obtenido trabajando en el campo de la ingeniería, en el que es más importante que las cosas funcionen que si la interpretación filosófica de los resultados es o no satisfactoria.

Más allá del carácter discreto de la materia, Terradas no da importancia a la posible interpretación filosófica de la mecánica cuántica, siempre que las teorías científicas estén bien contrastadas empíricamente.

Para evaluar la posición de Terradas, hemos de tener presente que las *Lecciones* son del período comprendido entre 1943 y 1945, es decir, 20 años después de las primeras formulaciones de la mecánica cuántica, pero debemos recordar también que algunos de los físicos más prestigiosos de su época no llegaron a aceptarla completamente, normalmente por razones ideológicas y filosóficas, más que por una correcta predicción de los fenómenos.<sup>2</sup> ¶

## Notas

**1** El subrayado es nuestro.

**2** De hecho, aún algunos físicos y filósofos de nuestros días no acaban de ver con buenos ojos la mecánica cuántica.



## Bibliografía

- FORMAN P.: *Cultura en Weimar, causalidad y teoría cuántica* [Introducción, epílogo y traducción de J.M. Sánchez Ron], Madrid, Alianza, 1984.
- GLICK T.F.: *Einstein y los españoles*, Madrid, Alianza, 1986.
- JAMMER M.: *The Conceptual Development of Quantum Mechanics*, Colección The History of Modern Physics 1800-1950, vol. 12., American Institute of Physics, Washington, Tomash Publishers, 1989.
- KRAGH H.: *Quantum generations: A history of physics in the twentieth century*, Princeton, Princeton University Press, 1999.
- KUHN T.S.: *La teoría del cuerpo negro y la discontinuidad cuántica, 1894-1912* (edición en castellano), Madrid, Alianza, 1980.
- PAIS A.: *Inward Bound*, Nueva York, Oxford University Press, 1986.
- ROCA ROSELL A.: «El impacto de la hipótesis cuántica en Cataluña», en: S. GARMA (ed.): *El científico español ante su historia*, Madrid, Diputación Provincial de Madrid, 1980.
- ROCA ROSELL A.: «L'obra científica d'E. Terradas», en: *Cinquanta anys de ciència i tècnica a Catalunya. Entorn l'activitat científica d'E. Terradas*, Barcelona, Institut d'Estudis Catalans, 1987.
- ROCA ROSELL A.: «Las maravillosas luces del alba resplandeciente...» E. Terradas, propagandista de la nueva ciencia», en: ROCA ROSELL, A. (ed.): *Esteban Terradas*, Madrid, Fundación Banco Exterior, Biblioteca de la Ciencia Española, 1991.
- ROCA ROSELL A., SÁNCHEZ RON J.M.: *Esteban Terradas (1883-1950): Ciencia y técnica en la España contemporánea*, Barcelona, INTA/El Serbal, 1990.
- ROCA ROSELL A., SÁNCHEZ RON J.M.: *Aeronáutica y Ciencia*, Madrid, Algaida/INTA, 1992.
- SÁNCHEZ DEL RÍO C.: «La enseñanza de la mecánica cuántica en España», *Revista Española de Física*, 2000; 14 (1).
- SÁNCHEZ RON J.M.: «La ciencia española se internacionaliza: La introducción de la Teoría Cuántica en España (1908-1919)», en: *Cinquanta anys de ciència i tècnica a Catalunya. Entorn l'activitat científica d'E. Terradas*, Barcelona, Institut d'Estudis Catalans, 1987.
- SOLER Y MÓDENA R.: *Catàleg del fons bibliogràfic Esteve Terradas*, Barcelona, Institut d'Estudis Catalans, 1994.
- TERRADAS E.: «Sobre la emisión de radiaciones por cuerpos fijos o en movimiento (1909)». *Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona* (3ª época), 1909, 7: 419-462. [Reimpreso en ROCA ROSELL A. (ed.), *Esteban Terradas*, Madrid, Fundación Banco Exterior, Biblioteca de la Ciencia Española, 1991.]
- TERRADAS E.: «Nota sobre la determinación de la constante de Avogadro-Lodschmidt», en: J. MAÑAS BONVÍ: *Química general inorgánica y orgánica*, Barcelona, Lib. de A. Bosch, 1911, 591-628. [Reimpreso en ROCA ROSELL A. (ed.), *Esteban Terradas*, Madrid, Fundación Banco Exterior, Biblioteca de la Ciencia Española, 1991.]
- TERRADAS E.: *Lecciones sobre física de materiales sólidos*, Madrid, Academia Militar de Ingenieros Aeronáuticos, 1943-1945, tres fascículos.
- TERRADAS E.: *Las ciencias y las armas*, Discurso para la Real Academia de Ciencias, Exactas, Físicas y Naturales, Madrid, Imprenta del INTA, 1949.
- VON NEUMANN J.: *Fundamentos matemáticos de la mecánica cuántica*, Madrid, Publicaciones del Instituto de Matemáticas Jorge Juan, 1949.