

Matemáticas y mecánica cuántica en España. Apuntes para una reflexión¹

GONZALO GIMENO VALENTÍN-GAMAZO
MERCEDES XIPELL GÓMEZ DEL MORAL

El objeto de este trabajo es hacer una breve descripción del proceso de propagación de la mecánica cuántica en España. En el mismo enfatizamos la conexión histórica de la disciplina física con sus fundamentos matemáticos. Revisamos algunas contribuciones relevantes a la cuestión y sugerimos algunas explicaciones respecto de la forma que adquirió esa propagación. Sugerimos que la complejidad matemática de la teoría se solapó con otras circunstancias de carácter más general haciendo difícil a los científicos españoles mantener el ritmo de la ciencia internacional.

Palabras clave: Mecánica cuántica, Formulación matemática, Principio de indeterminación, Didáctica en aulas universitarias.

Mathematics and quantum mechanics in Spain.

Notes for a reflection

The aim of this work is to give a brief account of the process of propagation of quantum mechanics in Spain. In the work we emphasise the historical connection of the physical discipline with its mathematical background. We review some relevant contributions to the topic and suggest some explanations for the way in which this propagation took place. We suggest that the mathematical complexity of the theory overlapped more general circumstances making it difficult for the Spanish scientists to catch up with the progress of international developments.

Keywords: Quantum mechanics, Mathematical formulation, Principle of indetermination, Didactics in university classrooms.

En octubre de 1915 un ilustre matemático español se hacía la siguiente reflexión:

¿Podemos colaborar ya en la Ciencia universal, o debemos todavía limitarnos a asimilarla? Ignoro si para las demás Ciencias puede darse ya una contestación fundada; para la Matemática es todavía prematura la cuestión, y resolverla exige conocer antes la posición exacta de España respecto de la cultura mundial en este orden de conocimientos.

Y continuaba su discurso haciendo una clasificación de los matemáticos españoles de su tiempo en dos grupos:

Primero. Los hombres modernos, es decir, amantes del progreso, que se han dado cuenta más o menos aproximada de nuestra posición y desean vivamente su mejora. Segundo. Los hombres que niegan la necesidad de este progreso, algunos de los cuales no son modernos, por desconocer la cultura matemática europea; otros, a pesar de conocer algo de ella por viajes, noticias o lecturas; otros, que ni la conocen, ni lo son, ni lo serían aunque la conocieran. (Rey Pastor, 1915)

Estas palabras, duras para sus compañeros de profesión, fueron pronunciadas por Julio Rey Pastor en el discurso inaugural del congreso de Valladolid de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias. Rey Pastor reflejaba en ellas el sentimiento de atraso que los españoles habían experimentado tras la pérdida de los últimos territorios de su imperio colonial.

Solamente diez años después, en 1925, nació en Europa la mecánica cuántica, una teoría física revolucionaria cuya interpretación desafiaba la intuición y demandaba un dominio de las ciencias matemáticas poco habitual. ¿Estaba preparada la ciencia española para esa revolución? ¿Qué características específicas revistió la introducción de la mecánica cuántica en el sistema científico, académico y cultural español? ¿Qué papel tuvo el desarrollo de la matemática, o la falta de él, en ese proceso?

Se suele aceptar la idea de que la mecánica cuántica comenzó a enseñarse en las aulas de la universidad española en la década de los 60, sin embargo en 1964 la sección cómica *Marginales* del diario ABC incluía chistes como el siguiente:

Y usted ¿nunca ha pronunciado palabras como *implícitamente*, *contenido social*, *estructura cuántica* [...] Ah, ya ¡como nunca ha tenido que escribir la presentación para un ciclo de teatro universitario de vanguardia!... (Diario ABC, miércoles 23 de septiembre de 1964. p. 37)²

La presencia de la mecánica cuántica a modo de chiste en la prensa diaria en 1964 nos permite intuir que su introducción en el mundo académico tuvo que ser anterior, como así fue.

Lo cierto es que desde los inicios de esa disciplina los científicos españoles intentaron comprenderla y transmitirla, si bien ese proceso se vio condicionado por diversas circunstancias que trataremos de esbozar a continuación. Pero antes de entrar en las particularidades de la transmisión de la mecánica cuántica es oportuno referirse al escaso refinamiento matemático de algunas ramas de la física y la química conectadas con ella. El historiador Sánchez-Ron da cuenta de esa falta de refinamiento afirmando que en las décadas de los años 20 y 30 del siglo pasado se avanzó mucho en la práctica de la investigación física en España «pero se hizo casi exclusivamente en Física Experimental, no en Física Teórica o Física Matemática» (Sánchez-Ron, 1990: 10). En esta expresión resuena el eco de la pregunta de Rey Pastor con la que hemos iniciado nuestro artículo.

Lo cierto es que desde los inicios de esa disciplina los científicos españoles intentaron comprenderla y transmitirla, si bien ese proceso se vio condicionado por diversas circunstancias...

Primeras apariciones de la mecánica cuántica. El principio de incertidumbre de Heisenberg

Una de las primeras apariciones públicas de la cuántica española la encontramos en el discurso de Julio Palacios en el acto de su recepción como miembro de la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales en 1932. Julio Palacios fue uno de los físicos más relevantes del período franquista. Siguiendo el protocolo establecido por la Academia, el discurso de Palacios fue contestado por otro académico; en el caso que nos ocupa el que contestó el discurso fue otra de las grandes figuras de la física española de su tiempo, Blas Cabrera, del cual Palacios era colaborador durante aquellos años (Palacios y Cabrera, 1932).

El discurso de Palacios versó sustancialmente sobre el principio de incertidumbre de Heisenberg. Como es sabido, este principio desarrolla el marco teórico de la indeterminación que se encuentra en ciertos procesos físicos. La versión matemática del principio establece que una distribución y su transformada de Fourier no pueden estar bien localizadas: si una es localizada (concentrada) la otra es dispersa y viceversa. El enunciado más habitual de la versión física del principio

asienta la imposibilidad de determinar simultáneamente y con precisión arbitraria dos magnitudes físicas conjugadas como son la posición y la velocidad.

El principio de indeterminación era una de las piezas clave de la mecánica cuántica, entre otras cosas porque integraba un conjunto de resultados teóricos notables de la física atómica. Heisenberg lo desarrolló ampliamente en su libro de 1930 (Heisenberg, 1930), utilizando en su exposición dos visiones de la mecánica con características aparentemente incompatibles: la discontinuidad de la mecánica de matrices de Heisenberg y la continuidad de la ecuación de onda de Schrödinger³.

Además de su importancia en el ámbito de la física el principio de indeterminación tuvo una repercusión notable en el sistema de pensamiento

europeo. Recuérdese que entre los fundamentos de la filosofía de la época se encontraba el principio de causalidad (todo hecho es consecuencia de una causa). El principio de indeterminación, sin embargo, desafía el de causalidad. En efecto, esa indeterminación objetiva aplicada al caso del movimiento de un cuerpo implica que no es posible determinar la posición de un móvil al cabo de un tiempo t , cosa que sí era posible en la mecánica de Newton. Y ello es porque bajo el nuevo principio, si en la igualdad $x(t) = x_0 + vt$ fuéramos capaces de conocer con total precisión la posición x_0 , entonces la velocidad v estaría totalmente indeterminada y recíprocamente.

Esa indeterminación no es por un problema de precisión en la medida sino que es una característica esencial de la mecánica cuántica. Por tanto, tomando el principio en estos términos, puede concluirse que hay una componente de arbitrariedad en cuanto a la trayectoria de un móvil que no existía en la mecánica de Newton. Según la interpretación ortodoxa de la mecánica cuántica⁴ esa arbitrariedad no obedece a ningún motivo, desafiando por tanto el principio de causalidad.

La evidencia científica del principio de indeterminación socavó así los fundamentos de la filosofía de su tiempo. El pensamiento filosófico español lo acogió inicialmente con ambigüedad pues, aunque el principio suponía un inconveniente para ciertos argumentos, el sistema de pensamiento quedaba liberado de la lógica mecanicista del siglo XIX. En cierto modo parecía que la ciencia se auto-limitaba a sí misma y que los científicos tomaban conciencia de ello.

Tras el discurso de Palacios de 1932 y en consonancia con la importancia que esas teorías físicas estaban adquiriendo en Europa y Estados Unidos, los académicos españoles fueron incorporando la mecánica cuántica en las actividades docentes.

Citaremos aquí solamente un par de muestras de la incorporación de la cuántica en la vida académica española. La primera son las lecciones impartidas por Ferran Ramon Ferrando el curso 1932-1933 (Ramon Ferrando, 1933) y la segunda las dos visitas de Erwin Schrödinger a España, que tuvieron lugar los años 1934 y 1935. A con-

tinuación hacemos una rápida aproximación a ambas manifestaciones en lo concerniente a la docencia de las matemáticas que hoy nos ocupa.

Didáctica en las aulas universitarias

Ferran Ramon Ferrando, profesor de física en la Universidad de Valencia durante el curso 1932-1933, recogió por escrito las lecciones impartidas en esa universidad con la declarada intención de «exponer en forma didáctica» un asunto que llenaba una extensa bibliografía (Ramon Ferrando, 1933: 85). Nosotros añadimos que, a semejanza de lo que hemos observado en otros autores, Ferrando perseguía una segunda intención. Esta era la de poner en claro sus propias ideas en relación con un tema que introducía una enorme complejidad en la interpretación de los fenómenos físicos si se comparaba con la sencillez de la mecánica de Newton.

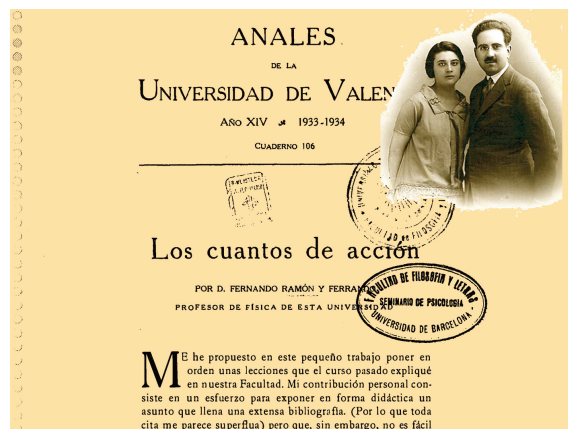


Figura 1. «Los cuantos de acción» de Ferran Ramon Ferrando, manifestación temprana de la docencia de la mecánica cuántica en las aulas universitarias españolas

Nos detenemos brevemente para aclarar lo que Ferrando consideraba una exposición didáctica. En aquella época la enseñanza universitaria de la física en España se debatió en la disyuntiva entre incorporar el aparato matemático en las exposiciones de la teoría o renunciar en lo posible a él y recurrir alternativamente a explicaciones basadas en la intuición. Esta disyuntiva se plasmó en los distintos estilos expositivos de los dife-

rentes académicos, dando lugar a una polarización de la docencia cuyos resultados son difíciles de valorar. Ferrando defendía que el exceso de matemáticas distraía a los alumnos de los hechos fundamentales (Ramon Ferrando, 1925: 11). Por ese motivo prefería recurrir a ejemplos que reforzasen los aspectos conceptuales sin entrar en el detalle de la formulación matemática. Otros autores españoles como Esteban Terradas, del que más adelante hablaremos, defendían que solamente las matemáticas posibilitaban la comprensión de la disciplina, e insistía en este hecho en el planteamiento de sus lecciones relegando de ellas la discusión conceptual.

Las visitas de Schrödinger

La segunda muestra, ya citada, de incorporación de la cuántica en la vida académica fueron las visitas de Schrödinger a España. Schrödinger, autor de la ya mencionada mecánica ondulatoria, fue invitado en 1934 a impartir unas lecciones sobre su teoría en la Universidad Internacional de Verano de Santander. Las lecciones de 1934 fueron recogidas por el filósofo Xavier Zubiri y publicadas posteriormente (Schrödinger, 1935). En la versión publicada de esas conferencias se omitió la justificación matemática con la que Schrödinger acostumbraba a presentar su teoría; no sabemos si fue porque el propio Schrödinger decidió hacer una presentación menos técnica de la mecánica ondulatoria o porque a Zubiri le pareció más adecuado plasmarlas así en su libro. Destacamos este hecho por lo que hemos comentado anteriormente respecto de la polémica sobre el uso de la matemática en la docencia de la física.

En preparación del curso que se iniciaba tras la primera visita de Schrödinger en 1934, Isidre Pòlit, profesor de la Universidad de Barcelona, presentó un programa para la asignatura de Física Matemática en la Facultad de Ciencias de dicha universidad que incorporaba lecciones sobre algunos temas relacionados con la física cuántica. El programa de Pòlit se remontaba a la teoría de la radiación del cuerpo negro de Planck de 1900 para tratar a continuación de la teoría de la cuantificación de Bohr-Sommerfeld y terminar con

la introducción a los fundamentos de la mecánica ondulatoria de Schrödinger.

En 1935 Schrödinger fue invitado por segunda vez a España. En esa ocasión impartió unas conferencias en el Instituto de Física, ubicado en las dependencias del edificio construido en Madrid con el respaldo económico de la Rockefeller Foundation en 1932.

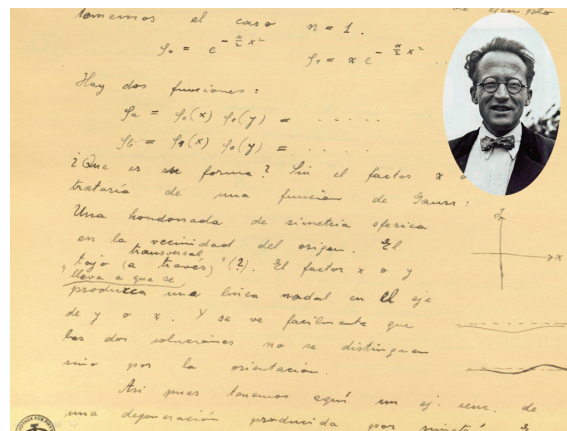


Figura 2. Borrador en castellano de las conferencias de Schrödinger en Madrid en 1935

El prestigio internacional de Blas Cabrera y su trabajo al frente del Laboratorio de Investigaciones Físicas, precursor del Instituto de Física, había influido en la decisión de los promotores de la Fundación Rockefeller y permitió modernizar las precarias instalaciones en las que se hallaba anteriormente dicho laboratorio. Las conferencias de 1935 fueron recogidas por un físico, Eduardo Gil Santiago, que no pudo publicar sus resúmenes hasta 1941⁵. Es de notar que, a diferencia de la publicación hecha por Zubiri de las conferencias de 1934, en la publicación hecha por Gil Santiago de las lecciones de 1935 abundan las expresiones matemáticas en la explicación, más en consonancia con la costumbre de Schrödinger.

Ese mismo año, 1935, Pòlit amplió su programa e incluyó el desarrollo de la ecuación de onda de Schrödinger, la utilización de los valores propios y las funciones propias y el significado físico de la función de onda Ψ .

Con los datos que poseemos a día de hoy no podemos concluir que la ampliación de los temas propuestos en los programas de Pòlit tenga su

origen en las conferencias de Schrödinger de esos años. Pero sí sabemos que algún efecto tuvieron en los asistentes. Uno de estos efectos se plasmó en una de las pocas manifestaciones de la mecánica cuántica que conocemos del período bélico 1936-1939. Nos referimos al estudio que el ingeniero de montes Fernando Peña Serrano publicó en 1937 en un artículo sobre la determinación de los niveles de energía del oscilador armónico (Peña, 1937). Como él mismo reconoce, dicho estudio se inspiró «en una idea expuesta por Schrödinger en las conferencias» de 1935.

Cambios en la didáctica tras la guerra civil. Nuevas generaciones⁶

La matematización de las explicaciones de la nueva mecánica se incrementa tras la guerra civil. Al posible efecto diferido de las conferencias de Schrödinger en el Instituto de Física y Química se añade la aparición de nuevos personajes en el mundo académico. De entre ellos mencionaremos dos que creemos tuvieron cierta importancia, aunque esta se materializó de una forma indirecta. Se trata de Joaquín Catalá de Alemany y José García Santesmases.

Estos dos licenciados en Ciencias por la Universidad de Barcelona publicaron sendos trabajos en 1942 sobre algunas cuestiones de mecánica cuántica acerca de las que habían impartido seminarios en la misma universidad (Catalá, 1942), (García Santesmases, 1942). En ambos casos los trabajos respondían al resumen de lo que habían desarrollado durante el curso anterior y su publicación obedecía parcialmente a la finalidad de poner en orden las notas de lo trabajado y expuesto en clase.

Si bien no había pretensión de originalidad en sus monografías, estas cumplían una misión de indudable interés: poner de manifiesto lo avanzada que estaba la universidad en la docencia de esas cuestiones. Este avance no pasó desapercibido. Al menos no lo hizo a los ojos de un personaje de la época con influencias en el mundo tecnológico e industrial: Esteban Terradas.

Este ingeniero había sido a principios de siglo uno de los difusores de la mecánica estadística. Vinculado inicialmente al ámbito académico promovió la necesidad de formar a los alumnos en las técnicas matemáticas que les podían ayudar a interpretar las teorías físicas. Su posterior dedicación a intereses industriales, sumada a otras circunstancias administrativas, le supuso cierto distanciamiento de la evolución de la física (Roca Rosell y Sánchez Ron, 1990).

Sus conexiones políticas le permitieron acceder, tras la guerra, a una cátedra de Física Matemática desde la cual trató de promover activamente los intereses científicos en España. En esos intereses Terradas incluía la mecánica cuántica, pero lo cierto es que, en 1940, la física cuántica de Planck que él conocía había evolucionado mucho desde los años en que él había enseñado sus fundamentos en la universidad hacia 1910. Los trabajos de Catalá de Alemany y de García Santesmases hicieron que Terradas tomara conciencia de esa realidad y le estimularon a ponerse al día en una disciplina que entonces constituía la frontera de la física de vanguardia. Ese renovado interés de Terradas en la disciplina, apoyado en sus contactos e influencia, se reflejó en la docencia de su tiempo concretándose en publicaciones y seminarios sobre diversos aspectos de la mecánica cuántica. También se concretó ese interés en el ascendiente que Terradas ejerció sobre su discípulo Ramon Ortiz Fornaguera.

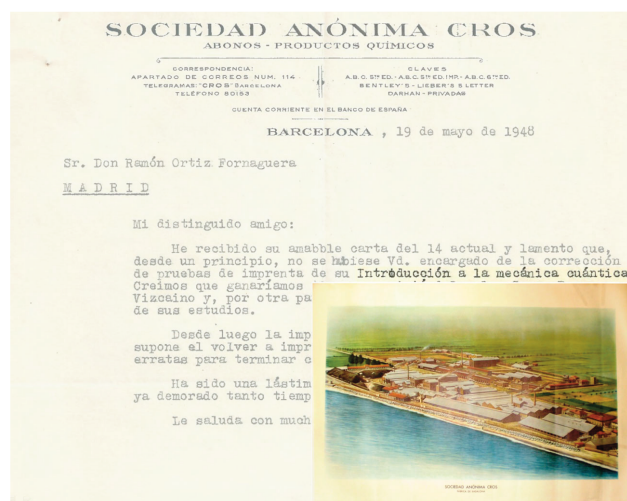


Figura 3. Gestiones para la publicación del libro *Introducción a la mecánica cuántica* de Ramon Ortiz a cargo de la S.A. Cros

Ramon Ortiz Fornaguera se había licenciado en Matemáticas y en Física en la Universidad de Barcelona al final de la guerra (Soler, 2015). Durante unos años impartió unas lecciones sobre mecánica cuántica dirigidas a los ingenieros y técnicos de la Sociedad Anónima Cros, industria dedicada a la elaboración de productos químicos con una importante factoría en Badalona. Estas lecciones fueron publicadas en 1947 y constituyen una de las primeras publicaciones en España sobre la disciplina (Ortiz, 1947). En esos años Ortiz realizó también su tesis doctoral bajo la dirección de Esteban Terradas y tradujo al castellano el libro de John von Neumann *Fundamentos matemáticos de la mecánica cuántica*, obra que continúa siendo la referencia autorizada en ese terreno (von Neumann, 1932).

Catalá, Ortiz y en menor grado García Santesmases, que se reorientó profesionalmente hacia la computación, representan una nueva generación de jóvenes para los cuales la mecánica cuántica pudo haber supuesto un símbolo de identidad y un argumento a favor de la necesidad de renovación de la física universitaria de su tiempo. Estos físicos de nueva promoción incorporaron desde el primer momento el aparato matemático que ya se utilizaba en el centro científico en un intento de normalizar la docencia de la disciplina⁷.

Normalización de la docencia

Quizá fuese ese deseo de normalización uno de los factores que indujeron a Ortiz a trabajar en la traducción del libro de von Neumann *Fundamentos matemáticos de la mecánica cuántica*. En ese libro se desarrollan los principios matemáticos que sustentan la hoy conocida como *interpretación de Copenhagen* de la mecánica cuántica.

También muestra esa tendencia a la normalización el resumen de las conferencias de 1935 realizado por Eduardo Gil Santiago. Debido a la guerra dicho resumen no se publicó hasta 1941, coincidiendo en el tiempo con los trabajos anteriormente mencionados de Catalá de Alemany y

de García Santesmases y abonando la idea de un cambio en el estilo de docencia.

En esa misma línea de cambio podrían interpretarse los dos libros publicados por el catedrático de la Universidad de Zaragoza José M.^a Íñiguez, doctor en Matemáticas y Química. Íñiguez publicó lo que nos parece ser la primera monografía de nivel universitario sobre mecánica cuántica en España en 1949 (Íñiguez, 1949)⁸. Pero lo que quisiéramos destacar aquí es que, quizá por su formación e interés en los aspectos matemá-

ticos de la mecánica cuántica, Íñiguez publicó tres años antes un libro, también orientado a público universitario, sobre la teoría de operadores lineales, de gran importancia en esa disciplina (Íñiguez, 1946). Tiene sentido interpretar esta publicación como muestra del interés de Íñiguez por subsanar las carencias de sus estudiantes en ese terreno, revelando así la iniciativa de los académicos españoles en la europeización de los conocimientos matemáticos de su época.

La mecánica cuántica vista por un matemático

Hasta aquí hemos ofrecido algunos apuntes sobre la dificultad que la complejidad matemática supuso en la transmisión de la teoría cuántica. La limitada tradición físico-matemática en España se unió a la polarización de los académicos entre el uso intensivo de la matemática en la docencia, o prescindir de ella. En esta disyuntiva cabe preguntarse cuáles fueron las aportaciones de los matemáticos, si es que las hubo, a ese proceso. Dado que hemos comenzado este resumen con palabras del matemático Julio Rey Pastor nos resulta grato tener la ocasión de volver sobre ese mismo autor para mencionar su incursión personal en el terreno de la mecánica cuántica.

Debe advertirse que la incursión de Rey Pastor es una de las pocas que conocemos realizada por un matemático fuera de las que protagonizaron los que además de la licenciatura de matemáticas disponían de la licenciatura de física, como es el

Estos físicos de nueva promoción incorporaron desde el primer momento el aparato matemático que ya se utilizaba en el centro científico en un intento de normalizar la docencia de la disciplina

caso de Ramon Ortiz, o de la licenciatura de química, como es el caso de José M.^a Íñiguez. Esta escasez de aportaciones de los matemáticos a la física permite conjeturar que las dos ciencias se desarrollaban en silos independientes y con pocas injerencias. Los países del centro científico se habían encontrado ya en esa situación. Pero el vacío matemático que la física podía haber tenido en ellos fue parcialmente subsanado años antes, en 1924, por Richard Courant y David Hilbert con la publicación de un libro sobre los métodos matemáticos de la física (Courant y Hilbert, 1924). Ese libro fue referencia frecuente de los autores que trabajaron en los problemas de mecánica cuántica, motivo por el que no es aventurado decir que marcó a toda una generación de físicos. Sin embargo el Courant-Hilbert nunca fue traducido al castellano.

La aparición, en el año 1955, de un libro de Rey Pastor titulado *Los problemas lineales de la física*, supuso un intento tardío de remediar la situación (Rey Pastor, 1955). La conexión del libro de Rey con el tema que tratamos aquí es el capítulo VI de dicho texto, en el cual el autor incluye varias secciones relacionadas con la «nueva mecánica» que desarrollan el aparato matemático de aquellos aspectos más relevantes de la teoría.

¿Mecánica cuántica en la enseñanza secundaria?

Por último, es interesante observar que, pese a la complejidad de la nueva disciplina, su difusión no se limitó al ambiente universitario. Fuera de ese contexto también otros actores trataron de comprender, asimilar y transmitir la nueva teoría. Ya hemos mencionado que en el ámbito de la industria Ramon Ortiz impartió unas clases a principios de los 40, pero quizá más interesante para los lectores de este resumen resulte destacar el papel del profesor de instituto Juan Bautista Puig Villena.

Puig Villena, natural de Xàtiva (Valencia), ejerció en 1928 como profesor de matemáticas del instituto local de Villacarrillo (Jaén). Su interés científico y académico le movió a realizar una petición a la Junta para la Ampliación de

Estudios para asistir al curso en Madrid del profesor P. Scherrer de la Escuela Politécnica de Zurich sobre la física de los rayos Röntgen y la estructura de los cristales⁹. Tras enseñar en Zafra (Badajoz) un tiempo, fue director de un colegio de Irún, donde entró en contacto con el Centro de Estudios Científicos de San Sebastián, del que fue socio. De esa época es su trabajo *La teoría corpuscular de la luz* (Puig Villena, 1935b). Posteriormente fue destinado a Antequera (Málaga) y Alcoy, lugar, este último, donde publicó *Breve idea de la mecánica ondulatoria* (Puig Villena, 1935a).

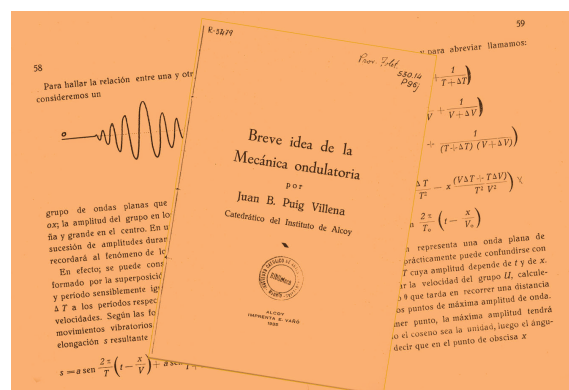


Figura 4. Texto que atestigua que la nueva mecánica interesó también al profesor de enseñanza secundaria Juan Bautista Puig Villena

Ambos ensayos tratan de diversos aspectos relacionados con la mecánica cuántica y, al igual que hemos observado en el caso de Ramon Ferrando y otros autores, el objetivo de los trabajos combinaba los intereses didácticos con la necesidad de poner por escrito sus estudios y reflexiones sobre esa materia. Sus conexiones políticas previas a la guerra civil le obligaron a exiliarse a Costa Rica al acabar esta (Baig, 2014).

Consideraciones finales

Las matemáticas presentaron una dualidad en el proceso de difusión de la mecánica cuántica que conviene señalar. Por un lado otorgaban credibilidad a la nueva física forzando una aceptación

casi obligada de las teorías y sus consecuencias. Por otro lado, la complejidad de sus razonamientos podía suponer un distanciamiento intelectual no siempre deseado por los físicos, a los que interesaba mantener la atención social por sus actividades científicas.

Por la trascendencia de sus postulados, la mecánica cuántica y las matemáticas que soportaban sus conclusiones permearon la sociedad española. Lo provocativo de la especulación física y lo complejo de su aparato matemático se combinaron de tal forma que la disciplina se expandió con lentitud, pero los físicos y matemáticos españoles realizaron notables esfuerzos para mantenerse al día en lo relacionado con la nueva mecánica.

Aunque el resultado de su esfuerzo no les permitió seguir el ritmo de los avances del centro científico, se han de valorar las enormes dificultades con que se encontraron, consecuencia en gran medida de la organización política, social, científica y económica de su país.

Referencias bibliográficas

- AUSEJO, E., y A. MILLÁN (1989), «La organización de la investigación matemática en España en el primer tercio del siglo XX: El laboratorio y seminario matemático de la junta para ampliación de estudios e investigaciones científicas (1915-1938)», *Llull* 12 (23), 261-308.
- BAIG, M. (2014), «Enseñanza y divulgación de la física moderna durante la república y la guerra: El caso del profesor Juan B. Puig Villena», *Enseñanza e historia de las ciencias y de las técnicas: Orientación, metodología y perspectivas: Actas del VII simposio de enseñanza e historia de las ciencias y de las técnicas de la SEHCYT, Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas*, SEHCYT, Barcelona, 29-35.
- CATALÁ, J. (1942), «Idea acerca de las modernas estadísticas en el campo de la física», *Anales de la Universidad de Barcelona*, 1941-1942, 133-158.
- COURANT, R., y D. HILBERT (1924), *Methoden der mathematischen Physik*, Julius Springer, Berlín.
- GARCÍA, J. (1942), «Conceptos modernos sobre ondas y corpúsculos», *Anales de la Universidad de Barcelona*, 1941-1942, 159-212.

- GIL, E. (1941a), «Nociones de la nueva mecánica cuántica», *Metalurgia y Electricidad*, 47, 31-35.
- (1941b), «Nociones de la nueva mecánica cuántica», *Metalurgia y Electricidad*, 48, 54-58.
- (1941c), «Nociones de la nueva mecánica cuántica», *Metalurgia y Electricidad*, 51, 22-27.
- HEISENBERG, W. (1930), *The physical principles of the quantum theory*, Dover Publications, Nueva York.
- HERRAN, N., y X. ROQUÉ (eds.) (2012), *La física en la dictadura. Físicos, cultura y poder en España 1939-1975*, Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra.
- ÍNIGUEZ, J. M. (1946), *Operadores Lineales en los Espacios Métricos*, Academia de Ciencias de Zaragoza, Zaragoza.
- (1949), *Mecánica Cuántica*, Academia de Ciencias de Zaragoza, Zaragoza.
- ORTIZ, R. (1947), *Introducción al estudio de la Mecánica Cuántica*, Sociedad Anónima Cros, Barcelona.
- PALACIOS, J., y B. CABRERA (1932), *Discurso leído en el acto de su recepción en la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, y contestación de Blas Cabrera*, Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Toledo.
- PEÑA, F. (1937), «Un método para determinar los niveles de energía del oscilador armónico», *Revista Matemática Hispano-Americana*, 12, 10-16.
- PUIG, J. B. (1935a), *Breve idea de la mecánica ondulatoria*, Imprenta E. Vañó, Alcoy.
- (1935b), *Teoría corpuscular de la luz*, Revista del Centro de Estudios Científicos de San Sebastián, San Sebastián.
- RAMON, F. (1925), *Materia y radiación. Discurso inaugural leído en la solemne apertura de curso académico de 1924 a 1925*, Clásica Española, Madrid.
- (1933), «Los cuantos de acción», *Anales de la Universidad de Valencia*, XIV (106), 85-155.
- REY, J. (1915), «Las matemáticas en España durante el siglo XX. Discurso inaugural de la sección 1ª Ciencias Matemáticas del Congreso de Valladolid celebrado por la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias», *Revista de Obras Públicas*. LXIII (2082), 529-535.
- (1955), *Los problemas lineales de la física*, CSIC-Dpto. de Publicaciones, 1988, Madrid.
- ROCA, A., y J. M. SÁNCHEZ, (1990), *Esteban Terradas 1883-1950: Ciencia y técnica en la España contemporánea*, Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial, Madrid.
- SÁNCHEZ, J. M. (1990), «La física matemática en España: De Echegaray a Rey Pastor». *Arbor*, 532, 9-60.

SCHRÖDINGER, E. (1935), *La nueva mecánica ondulatoria*, (Traductor X. Zubiri), Signo, Madrid.
SOLER, P. (2015), «La obra científica de Ramon Ortiz Fornaguera (1916-1974): Un capítulo de la física matemática, teórica y nuclear en la dictadura fran-

quista», *Actes d'Història de la Ciència i de la Tècnica*, 8, 9-55.
VON NEUMANN, J. (1932), *Fundamentos Matemáticos de la Mecánica Cuántica*, 1949 (Traductor R. Ortiz), Instituto de Matemáticas Jorge Juan, Madrid.

GONZALO GIMENO VALENTÍN-GAMAZO
Universitat Autònoma de Barcelona
<ggimenovg@gmail.com>

MERCEDES XIPELL GÓMEZ DEL MORAL
Universitat Autònoma de Barcelona
<mxipellg@gmail.com>

1 Este trabajo ha recibido soporte del Ministerio de Economía y Competitividad en el marco del proyecto «La física en la construcción de Europa» (HAR2014-57776-P).

2 La cursiva es nuestra.

3 La ecuación de onda de Schrödinger era una de las piezas fundamentales de la «mecánica ondulatoria». Esta era una de las expresiones formales de la mecánica cuántica. Uno de sus rasgos característicos era que sustentaba el carácter continuo de los fenómenos físicos. Otra de las expresiones formales de la misma teoría era la «mecánica de matrices» de Heisenberg que, a diferencia de la anterior, servía de apoyo al carácter discreto de esos mismos fenómenos. Durante un tiempo los físicos se vieron envueltos en una notable confusión debido a la aparente contradicción de ambas expresiones. Finalmente el propio Schrödinger demostró que eran equivalentes, aunque la contienda persistió respecto de cuál de las dos recogía mejor las sutilezas del mundo subatómico.

4 También conocida como «interpretación de Copenhagen».

5 Gil Santiago (1941a, 1941b, 1941c).

6 En Herran y Roqué (2012) se ofrece una visión actualizada de la física en España durante el período franquista.

7 Por «centro científico» nos referimos aquí a los países europeos y americanos que más notablemente contribuyeron al desarrollo de la mecánica cuántica.

8 Recuérdese que las lecciones de Ortiz anteriormente mencionadas no estaban dirigidas a estudiantes universitarios.

9 Hasta su supresión tras la guerra civil, la Junta de Ampliación de Estudios (JAE) posibilitó que numerosos estudiantes españoles completaran su formación junto a relevantes personalidades académicas de su tiempo en diversas ciudades de todo el mundo. Se pueden consultar muchos detalles de su actividad en el Archivo de la Junta de Ampliación de Estudios <<http://edaddeplata.org/>>. La JAE promovió también el Laboratorio y Seminario Matemático en 1915 (Ausejo y Millan, 1989).