

## El camino de Max Planck hacia los cuantos de energía

*Carlos D. Galles*

Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura  
Universidad Nacional de Rosario  
Avda. Pellegrini 250. 2000 Rosario Argentina  
galles@fceia.unr.edu.ar

*El presente artículo transcribe una conferencia dictada por el Prof. Carlos Galles en la reunión organizada por la Academia Nacional de Ciencias de Buenos Aires, Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Favaloro, con motivo de la conmemoración de los 100 años de la presentación que hiciera el Prof. Dr. Max Planck sobre la Teoría de los Cuantos. Diciembre 1900-2000. Analiza las circunstancias históricas del surgimiento de la física cuántica entre fines del siglo XIX y principios del siglo XX y comenta brevemente cómo la teoría de los cuantos se abrió camino en los ambientes académicos en Argentina. (Noviembre 17 de 2000).*

### Las partículas, los campos y el éter

El sentimiento de los físicos era claramente de autosatisfacción respecto a su ciencia cuando terminaba el siglo XIX. En un famoso discurso Lord Kelvin, uno de los fundadores de la moderna Termodinámica, con aportes esenciales al Electromagnetismo, señalaba que el camino próximo que debían emprender los físicos residía sobretodo en abundantes y mejores mediciones pues las bases teóricas ya estaban echadas y no se vislumbraban modificaciones de importancia y quizás ya nunca más las habría.

La Mecánica Newtoniana había demostrado con creces su aptitud para resolver las dificultades que se le planteasen y había llegado a su hora de mayor gloria cuando Leverrier y Adams descubrieron en sus escritorios por mero cálculo al planeta Neptuno. Los fenómenos ligados al calor habían dado por resultado, gracias a las investigaciones de Carnot, Joule Meyer, Kelvin, Joule y Clausius entre otros, una ciencia eminentemente abstracta, la Termodinámica, basada en dos principios inquebrantables: el que postula la conservación de la energía y el que prohíbe que la entropía

de un sistema cerrado disminuya en el futuro.

En esa época de grandes unificaciones se había generado una teoría completa que lograba englobar los fenómenos de la electricidad y del magnetismo. Y no sólo eso, las ideas de Faraday y de Maxwell permitían extender ese dominio hasta abarcar los fenómenos luminosos.

Estas tres teorías, la Mecánica, la Termodinámica y el Electromagnetismo, daban una gran seguridad a los físicos y, a su vez, engendraban la sensación de que la tarea a enfrentar tendría poco de creativa, remitiéndose a una laboriosidad acumulativa de la cual surgiría la linealidad del progreso ininterrumpido.

A partir de 1895 el descubrimiento de nuevos fenómenos experimentales tales como los Rayos X y la Radioactividad comenzaron a sacudir la certeza de los fundamentos y sobre todo la confianza en los modelos mecánicos y en las ideas energetistas, ciudadela del positivismo. Por otra parte la falta de una dirección temporal en las ecuaciones de la mecánica, en oposición a la segunda ley de la termodinámica, que fija una flecha del tiempo, también fue motivo de desazón.

Existía un programa que marchaba viento

en popa y era el del electromagnetismo, que consideraba perturbaciones que se propagaban en un medio ideal denominado éter. Tomando la idea de las cargas eléctricas y asociándolas a las ecuaciones de Maxwell el holandés Hendrik Lorentz creó una teoría mixta que permitió alcanzar una serie de sucesos tales como la explicación del efecto Zeeman y la conductividad de los metales. A este respecto recordemos que hacia 1896 los experimentos de Thompson permitieron asegurar la existencia de una partícula de carga negativa: el electrón.

Las grandes invenciones, por otra parte, mostraban que el ideal baconiano de dominio del hombre sobre la Naturaleza se iba cumpliendo inexorablemente. Las nuevas formas de energía eran domesticadas, mayores velocidades eran alcanzadas, la producción de bienes se había multiplicado.

### Vida de Max Planck

Max Planck nació en Kiel el 23 de Abril de 1858 y su larga vida se prolongó hasta el 4 de Octubre de 1947. Hizo sus primeras letras en esa ciudad hasta que la familia se trasladó a Munich donde se graduó en 1874. Ya por entonces era reconocido por sus muchos talentos, habiendo mostrado su capacidad para la música, la filología y las matemáticas. Finalmente se decidió por estas últimas, comenzando sus estudios en la Universidad de Munich, donde pronto se vio atraído por los temas de Física, a pesar de que algunos de sus profesores trataron de persuadirlo de que ya nada quedaba por hacer en ese campo. La enseñanza era predominantemente experimental y se cree que fue entonces que Planck hizo sus únicas prácticas de laboratorio. Se lo considera el primer físico teórico en el sentido moderno de la palabra, sobre lo cual habría mucho para reflexionar. El propio Planck dice que era un físico *sui generis*, lo cual no hizo fáciles sus primeros años como profesor.

Luego prosiguió sus estudios en la Universidad de Berlín, donde fue alumno de Kirchhoff y de Helmholtz; ambos relevantes físicos resultaron para Planck pésimos docentes, uno



*Max Planck*

excesivamente puntilloso en la lectura de sus apuntes lograba alcanzar altos límites de aburrimiento en sus oyentes, el otro, poco interesado en preparar sus clases, era un tanto confuso en sus explicaciones y aún en sus cálculos en el pizarrón. La vocación de Planck fue decidida por la lectura cuidadosa de la obra de Clausius *Mechanische Wärmetheorie*, sobre la base de la cual preparó su tesis doctoral sobre la Segunda Ley de la Termodinámica, presentada el 28 de Julio de 1879 ante la Universidad de Munich. En esta tesis ponía especial énfasis en el hecho que la entropía nunca disminuye en un sistema termodinámico cerrado, destacándose su tratamiento del concepto relativo a los procesos irreversibles. En su opinión las ideas expresadas en esa ocasión no tuvieron la menor repercusión: probablemente Helmholtz ni siquiera leyó sus trabajos, Kirchhoff se pronunció en total oposición, Clausius evadió todo contacto con el novel autor. Luego Planck prosiguió una carrera académica siempre ascendente, recibió en 1880 su *venia legendi* en Munich y casi simultáneamente su diploma de habilitación. Luego pasó a ser profesor extraordinario en la Universidad de Kiel en 1885, cargo obtenido en parte gracias a los buenos contactos de su padre, según el propio Planck narra candorosamente en su autobiografía.

En forma paulatina, Planck se fue transfor-

mando en un experto en Termodinámica y su fama quedó confirmada al ganar en 1887 el premio en una competición de la Universidad de Göttingen por su ensayo acerca del Principio de Energía (“Das Princip der Erhaltung der Energie”), donde lo aplica hasta cubrir la teoría de las soluciones diluidas y los fenómenos termoeléctricos. Por esos años mantuvo una polémica con la escuela energetista, que sólo se vería resuelta por los trabajos de Boltzmann, los cuales si bien partían de principios estadísticos de los cuales entonces Planck estaba muy alejado, llegaban a las mismas conclusiones.

En 1888 fue nombrado Profesor Asistente de la Universidad de Berlín, como sucesor de Kirchhoff, y director del Instituto de Física Teórica, creado entonces especialmente para él. Ya en 1892 era Profesor Ordinario y continuaría siéndolo hasta 1926. En 1894 fue elegido para integrar la Königlich-Preussische Akademie der Wissenschaften (Academia prusiana de Ciencias) en Berlín, lo cual implicaba entonces la culminación de la carrera científica, al menos en los aspectos más formales, de un científico del Imperio Alemán.

Comenzada la década de los años 90 la fama de físico teórico de Planck ya estaba consagrada gracias a sus trabajos en Termodinámica. A la muerte de Gustav Hertz, en 1894, es a él a quien la Sociedad de Física de Berlín pide le rinda tributo en una conferencia refiriéndose a la vida, investigaciones y personalidad del insigne descubridor de las ondas electromagnéticas. Es interesante ver como describe la actitud de Hertz en su trato con otros investigadores.

“En cuestiones científicas el no prestaba importancia a quien las afirmaba; para Hertz sólo los hechos y los principios importaban, y ellos podían provenir de cualquier fuente concebible. El siempre mostraba la misma amabilidad objetiva con respecto al más académico comentario, y para el más ingenuo, siempre que fuesen sinceramente expresados. Sólo podía ser cáustico e intolerante cuando estaba en presencia de una forma de encarar la investigación que es desdichadamente común en nuestros días. Es decir programas de investigación basados en la conveniencia personal y

hábitos de trabajo apresurados, lo cual conduce sólo a la confusión.”

Este párrafo creemos que resume mucho de la esencia del pensamiento de Planck respecto de la investigación científica; algo parecido al lema del físico y epistemólogo inglés Herschel: Hechos e Ideas. Un método que le dio muy buen resultado evidentemente en sus estudios sobre la radiación del cuerpo negro donde supo colocarse cercano a los físicos experimentales y enterarse de los resultados casi a medida que iban siendo obtenidos, conservando su propia libertad para la creación de teoremas, para proyectarse en el vuelo de la imaginación.

Entre sus numerosas amistades científicas se contaban los físicos experimentales del Physikalisches-Technisches Reichsanstalt (Instituto Físico Técnico Alemán): Otto Lummer, E. Pringsheim y Ferdinand Kurlbaum, las cuales serían instrumentales, dispénsenme el barbarismo, cuando los estudios sobre el cuerpo negro al que nos referiremos en breve.

En 1897 publicó su *Vorlesungen über Thermodynamik* (Tratado de Termodinámica), el cual fue utilizado durante tres décadas como texto de presentación de esa rama de la Física. Por otra parte, luego de los trabajos de Einstein en 1905, Planck fue uno de los primeros partidarios de la Teoría de la Relatividad. Continuó por muchos años produciendo trabajos de primera calidad y sobre todo se constituyó en una especie de árbitro y consultor en cuestiones científicas, sobre todo por medio de una copiosa correspondencia y su intervención como editor de revistas y organizador de congresos.

Tuvo una actitud digna con el arribo del nazismo. Su conciencia del deber le impuso concurrir a una audiencia delante de Hitler para hacerle notar el fuerte golpe que significaba para la ciencia alemana el inicio de las persecuciones políticas y raciales de 1933.

La vida no le ahorró sinsabores, en la Gran Guerra perdió a su primogénito. Su segundo hijo pereció a manos de la Gestapo tras el fallido complot para terminar con el régimen nazi en 1944.

Max Planck falleció en Göttingen en 1947. En las palabras de James Franck, la muerte le llegó como una suerte de redención.

## El problema del cuerpo negro

En 1800 Sir William Herschel había comprobado que en el espectro del Sol figuraban otros rayos que no eran visibles a simple vista, cayendo en la región más allá del rojo. Desde esa primera comprobación, hecha simplemente colocando un termómetro en la zona donde la luz arriba luego de atravesar un prisma, se sucedieron los estudios. En 1847 Fizeau y Foucault en Francia comprobaron que esta radiación infrarroja se comportaba en forma similar a la luz visible en lo que respecta a los fenómenos de interferencia.

El cuerpo negro perfecto fue definido por Kirchhoff como aquel que absorbe toda la radiación que recibe. Tal cuerpo, colocado dentro de una cavidad a temperatura constante, alcanzaría el equilibrio con la radiación existente. El físico norteamericano S. Langley (1834-1906) dio comienzo en 1886 a una sistemática serie de mediciones de la radiación recibida del Sol, determinando de esa forma que la temperatura superficial del astro es de 5680 K. Para estas mediciones se valió de un nuevo instrumento de medición, el bolómetro, inventado por él mismo.

Por medio de razonamientos puramente termodinámicos Kirchhoff demostró, en un famoso teorema presentado en 1859, que la razón entre el poder emisor de un cuerpo y el poder absorbente está dado por una función de la frecuencia de la radiación y la temperatura absoluta, independiente de la composición del cuerpo. Es una propiedad absoluta válida para estos fenómenos y esa función es justamente la que da la intensidad de la radiación emitida por un cuerpo negro.

Era entonces de importancia estudiar la forma de esta función en el laboratorio. Tarea que demandó no poco tiempo: por una parte era necesario obtener una buena aproximación real al cuerpo negro y por otra diseñar los métodos experimentales para medir su radiación.

Primeramente se logró por parte de Stefan una expresión que da la energía total emitida por el cuerpo negro como una función de la potencia cuarta de la temperatura absoluta. Más tarde Wien, con un análisis un tanto es-

pecioso de la compresión adiabática de la radiación contenida en un cilindro con un pistón espejado, y haciendo uso asimismo de la distribución de velocidades moleculares de Maxwell, obtuvo una fórmula válida para las altas frecuencias.

Recién en 1895 Lummer y Wien se sirvieron experimentalmente de un espacio cerrado con una pequeña abertura, lo cual había sido definido por Kirchhoff como la representación más apropiada para un cuerpo negro, estudiando el flujo de radiación para las diferentes temperaturas. En un principio Lummer y Pringsheim tomaron recipientes para la radiación de forma esférica o cúbica, a los cuales colocaban en un baño maría de líquidos en estado de ebullición para fijar uniformemente la temperatura de las paredes. Luego se pasó a trabajar con electricidad, calentándose un cilindro de platino por el paso de la corriente. El cilindro recubría un cilindro interior de material refractario y era rodeado exteriormente por otro semejante. La temperatura del cilindro interior era medida por una termocupla y se estudiaba la intensidad de la radiación emitida por una pequeña abertura practicada en la pared del mismo.

## Planck y el cuerpo negro

Fue entonces, hacia 1896, que Planck comenzó a dedicar todos sus esfuerzos a la resolución de este enigma. Como vemos en sus datos biográficos nada hacía prever que este profesor prusiano estuviese al origen de una revolución científica; su actitud fue claramente en la línea del bien fundamentado formalismo teórico de la termodinámica, esta vez aplicado al campo electromagnético. La idea central de Planck fue la de colocar en la cavidad donde estaba encerrada la radiación un oscilador de Hertz, vale decir, un sistema capaz de absorber y emitir radiación de acuerdo a las leyes del electromagnetismo. De esta forma si se colocara un cierto número de osciladores dentro de la cavidad estos intercambiarían energía entre ellos y con las paredes circundantes hasta alcanzar el estado de equilibrio termodinámico. Su metódica labor lo condujo en 1899

a la Ley de Wien, con una demostración tan rigurosa que en la literatura de la época a veces hasta se le añadía su nombre.

En la deducción teórica de Planck jugó un rol crucial el atribuir al oscilador una entropía  $S$ , la cual está relacionada con la energía  $U$ , por la fórmula:

$$\frac{d^2 S}{d^2 U} = -\frac{\alpha}{U}$$

Por integración, y usando la definición,

$$dS/dU = 1/T$$

se obtiene la Ley de Wien.

En Mayo de 1899, tras definir la entropía del resonador, Planck ya había determinado el valor de la que luego sería la famosa constante que lleva su nombre. Fue entonces cuando sugirió que su nueva constante  $h$  (séanos permitido por claridad utilizar la nomenclatura usual disculpándonos el anacronismo), unida a la velocidad de la luz  $c$  y a la constante de gravitación universal  $G$ , permitía formar un “sistema natural de unidades de medida” aptas para “retener su significación para todos los tiempos y todas las culturas, aún extraterrestres y extrahumanas”:

Longitud:  $\sqrt{hG/c^3}$

vale decir del orden de  $10^{-33}$  cm

Masa:  $\sqrt{hc/G}$

vale decir del orden de  $10^{-5}$  gr

Tiempo:  $\sqrt{hG/c^5}$

vale decir del orden de  $10^{-43}$  seg

En esta forma Planck satisfacía plenamente su anhelo de absoluto y exhibía la capacidad humana para interpretar y leer en el mundo objetivo. Nótese además la confianza de Planck en su recientemente hallada constante, a la cual pone en pie de igualdad con  $G$  y  $c$ , constantes ya tradicionales y cargadas de prosapia. No es de sorprender que este proyecto de Planck no fuera comprendido en su época. La dificultad de vincular el diámetro del átomo

con algo tan minúsculo como  $10^{-33}$  cm impidió que, tres décadas después, estas ideas fueran comprendidas por alguien tan destacado como Heisenberg. Recién hacia 1957 las unidades naturales volvieron a la consideración de los físicos y así son moneda corriente hoy en día.

El día 7 de Octubre de 1900, recibió en su casa la visita de Rubens, quien le comunicó los últimos resultados experimentales que mostraban una gran diferencia para longitudes de onda mayores a los 40 micrones. Además es posible que le haya informado sobre la nueva ley, válida para grandes longitudes de onda, postulada por Rayleigh en un trabajo publicado en Junio de 1900. Planck comprendió que podía ajustar los nuevos valores con una nueva expresión que además tuviese como casos límite las leyes de Wien y de Rayleigh. Ese

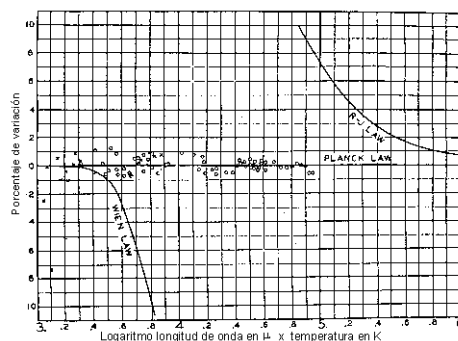
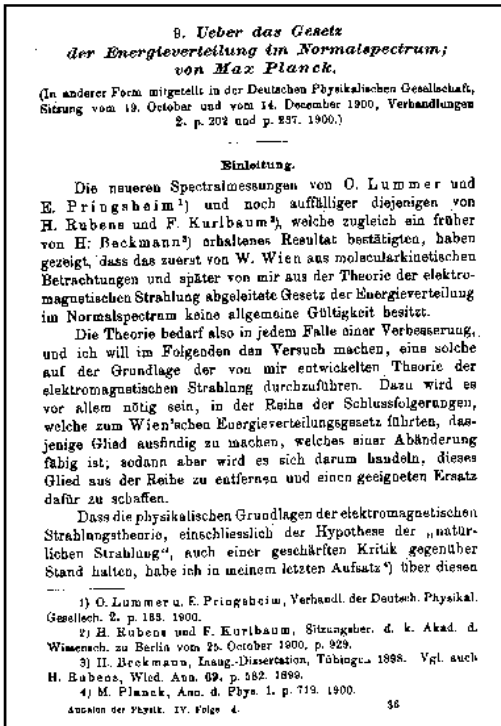


Figura 2. Prueba experimental de la ley de radiación de Planck. Datos obtenidos por Rubens y Michel. Comparación de las variaciones de la ley de Wien y la ley de Rayleigh-Jean con las de la ley de Planck.

mismo día determinó la fórmula que pasaría a ser tan famosa. Para hacer una deducción convincente le bastó con hacer una ligera modificación a la expresión anterior para la derivada segunda de la entropía del resonador respecto a la energía:

$$\frac{d^2 S}{dU^2} = -\frac{\alpha}{U(\beta + U)}$$

El marco teórico conduce directamente a la Ley de Planck de la radiación, como pronto pasó a ser conocida. La presentación de la fórmula con sus dos nuevas constantes fue hecha



*Primera página del artículo de Max Planck  
Annalen der Physik, IV, 4, 553, (1901) en el que  
por primera vez presenta la constante h que señala  
el nacimiento de la física cuántica, luego  
universalmente conocida como la constante de  
Planck o cuanto de acción.*

por Planck en la reunión de la Sociedad Alemana de Física en Berlín el 19 de Octubre de 1900. Al día siguiente Rubens le comunicó a Planck que había pasado la noche comparando la ecuación con los datos experimentales habiendo obtenido un acuerdo sumamente satisfactorio en todos los casos.

La deducción contenía todavía un elemento claramente ad hoc como es la expresión anterior de la entropía del oscilador, para el cual no hay una clara explicación, ni siquiera metafórica. La necesidad imperiosa de basar la deducción sólo en principios básicos condujo a Planck a vivir lo que llamó “las semanas de más tenaz trabajo de mi vida”. En su Autobiografía dio una clara descripción de la situación epistemológica en la que se encontraba:

“Incluso si se da por supuesta la más absoluta y exacta validez de la fórmula de radiación, si sólo tuviera la categoría de una ley

descubierta por una intuición afortunada, no podría esperarse que tuviera sino una importancia formal. Por ello desde el día mismo en que formulé esta ley me dediqué a intentar dotarla de un auténtico significado físico”.

Esta prístina enunciación de propósitos condujo el 14 de Diciembre de 1900 a lo que Lakatos llama el nacimiento del programa reduccionista de Planck. La fórmula empírica de Planck, la de aquel Octubre, corresponde en la nomenclatura del filósofo húngaro a una hipótesis ad hoc del tipo 3, vale decir una hipótesis auxiliar que tiene mayor contenido empírico que las predecesoras y que además está al menos parcialmente corroborada empíricamente. Planck en una clara actitud conservadora ocupó los siguientes diez años de su vida en intentar una incorporación a la teoría clásica de la nueva situación empírica. En su idea original la radiación era emitida y absorbida por cuantos, luego propuso una teoría en que sólo la emisión estaba cuantificada.

Para lograr su cometido Planck debió basarse en una teoría tal como la de Ludwig Boltzmann, que hasta hacía pocos años había considerado inadecuada dado el uso predominante de métodos estadísticos en el estudio de los sistemas termodinámicos. Esa teoría implica una adhesión al atomismo y la interpretación de los fenómenos térmicos como el resultado de la agitación de los componentes de la materia, una idea que viene desde al menos los trabajos de Bernoulli, y que implican reducir la ley del crecimiento de la entropía a una mera ley de probabilidades, lo cual era en un principio inaceptable para Planck.

Planck consideró entonces las posibles energías de los osciladores y siguiendo el método de Boltzmann las distribuyó en casilleros con determinadas energías, calculando el número de complejiones para cada intervalo de energía. En el método original luego se procedía a tender el intervalo de energía a cero.

Para calcular la energía de cada grupo de resonadores Planck introdujo un número finito de elementos de igual energía:

$$\epsilon = h \nu$$

Es decir cada oscilador no puede tomar una energía arbitraria sino que ésta debe ser igual

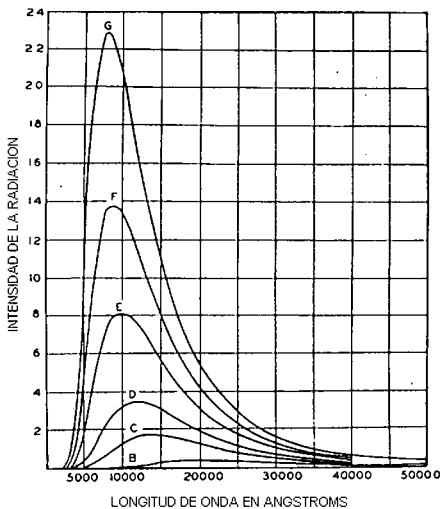
a un múltiplo de esas cantidades de energía que han pasado a denominarse cuantos de energía.

Luego contando el número de formas distintas en que se puede formar cada nivel de energía con la fórmula:

$$\frac{(N + P - 1)}{(N - 1) P!}$$

alcanzó nuevamente la expresión que da la densidad de energía en función de la temperatura y de la frecuencia de la radiación:

$$u_{\nu} = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1}$$



Distribución espectral de la radiación de un cuerpo negro de una unidad de área, dada por la ecuación de Planck para las siguientes temperaturas:  
 B = 1500°K                      E = 2970°K  
 C = 2150°K                      F = 3300°K  
 D = 2500°K                      G = 3655°K

Imagen 4: Galles 4 curvas de radiación

La teoría fue presentada el 14 de Diciembre de 1900 en una nueva comunicación ante los miembros de la Sociedad Alemana de Física. Ese día puede considerarse como el de nacimiento de la teoría de los cuantos.

Recapitulando, la constante h fue presentada por Planck en Mayo de 1899, la fórmula para la densidad de energía del cuerpo negro el 19 de Octubre de 1900, y la primera utilización teórica de las ideas cuánticas el 14 de Diciembre siguiente. Los organizadores de esta

reunión que nos congrega han elegido una fecha para la celebración casi equidistante entre las dos últimas, cuando hace un siglo Planck estaba sumido en la ardua tarea que le daría fama perdurable.

Se pudiera pensar que Planck estaba influenciado, como la mayor parte de sus colegas alemanes, por principios kantianos, pero en lo que hace a los principios de la Termodinámica su actitud era completamente pragmática, estaba dispuesto a desecharlos si se comprobaba empíricamente su inaceptabilidad (esto puede verse en su libro de 1887). Pero desde un punto de vista psicológico no era un hombre inclinado a alejarse del estado de derecho, no olvidemos que su padre ejercía esa cátedra en la Universidad, asegurado por los principios, y que había demostrado su utilidad en innumerables ocasiones para iniciar una aventura. Era lo que el físico italiano Segre llamó, en su exquisito libro dedicado a la historia de la física moderna, “un revolucionario contra voglia”, es decir “un revolucionario a pesar suyo”.

### Los primeros años de la teoría cuántica

¿Cuál fue la reacción de la comunidad científica ante la teoría propuesta por Planck? Indudablemente en este caso se comprobó la idea de Lakatos que describe cómo la racionalidad se abre camino mucho más lentamente de lo que solemos creer.

En principio sólo se vio en ella la fórmula que salvaba las circunstancias experimentales. Por otra parte la medición de la constante k de Boltzmann permitía la determinación del número de Avogadro con mayor precisión que lo que se había logrado anteriormente y de esta forma una medición de la carga e del electrón. Todos logros de enorme modernidad, el valor obtenido por Planck para e sólo fue mejorado una década después por las célebres mediciones de Millikan.

La primera monografía que se ocupó de la nueva teoría fue el manual del físico experimental Heinrich Kayser (1853-1940), “Handbuch der Spectroscopie” (1902), quien tras presentar la fórmula indicaba que la misma

podía deducirse teóricamente, aunque sin dar ningún indicio sobre la cuantificación, y que las constantes tenían un significado físico. Este tratamiento de la fórmula de Planck fue general en los textos de la primera década del siglo.

Otro ejemplo lo tenemos en Cwholson, quien en su tratado de 1904 considera cinco fórmulas diferentes para la radiación del cuerpo negro, las de Wien, Thiessen, Rayleigh, Lummer y Planck, señalando que la de Planck era sin dudas la más ajustada a las mediciones, pero sin hacer referencia a la idea de cuantos de energía. Esto es una constante común a todos los textos de la época que tratan sobre la radiación del cuerpo negro, donde a lo sumo son mencionadas las constantes  $h$  y  $k$  y su carácter de universal.

Los experimentos de Lummer y Pringsheim no fueron definitivamente una experiencia crucial. En primer lugar no había dos teorías rivales en el momento histórico en que fueron realizados y si bien una nueva teoría estaba en ciernes a partir de Diciembre de 1900 sólo fue logrando adeptos a través de un largo proceso de captación.

En su magnífico estudio sobre el cuerpo negro Thomas Khun ha presentado algunos cuadros estadísticos sobre las publicaciones relacionadas con los trabajos de Planck; entre 1900 y 1905 son muy pocos los trabajos que tratan sobre el tema, luego de ese año se nota un incremento en el interés por los cuantos, pero sólo a partir de 1910 se superaría la cuota de diez autores por año preocupados por la naciente teoría.

Este cambio a partir de 1905 fue debido sin dudas al artículo en el que Albert Einstein presentó sus ideas sobre la cuantificación del campo electromagnético, de lo que se sirvió para explicar el fenómeno fotoeléctrico. Luego el propio Einstein aplicaría las nuevas ideas cuánticas para dar cuenta de la disminución de los calores específicos al reducirse la temperatura, un resultado muy de acuerdo con el Teorema de Nernst (la Tercera Ley de la Termodinámica), enunciado dentro de un formalismo totalmente clásico, lo cual dio un fuerte apoyo a la teoría cuántica.

Pero el fuerte grupo de los científicos ya consagrados mostraba una actitud conserva-

dora que se vio reforzada por el ingenio científico de Jeans, ingenio esta vez aplicado a una posición que con el tiempo sería considerada retrógrada, mas, ¿quién podía saberlo entonces? Poderosas razones habían indicado a los físicos del siglo XIX que debía existir un medio elástico para sostén de las ondas electromagnéticas. La idea de Jeans fue la de suponer que parte de la energía presente en la cavidad que conforma el cuerpo negro se intercambia muy lentamente con ese éter y que por lo tanto la teoría termodinámica del equilibrio no puede ser aplicada pues ese equilibrio para todo lo contenido en la cavidad no se ha alcanzado, lo cual está señalado por la falta de acuerdo entre los resultados experimentales y la Ley de Rayleigh Jeans. Singular y un tanto absurda como pueda parecer esta teoría para quien la aprecia cien años después, cabe insistir, tuvo su período de aceptación.

Actualmente tenemos tendencia a creer que una vez explicado el efecto fotoeléctrico, el fenómeno de la radiación del cuerpo negro y el comportamiento de los calores específicos a baja temperatura, la teoría de los cuantos ya habría tenido general beneplácito. Pero este no fue verdaderamente el caso. Lakatos nos recuerda que en la reunión de 1913 de la British Association for the Advancement of Science, donde estaban presentes las figuras más relevantes de la física inglesa, como Jeans, Rayleigh, Thomson, Rutherford, Bragg, Poynting, y representantes de la física continental, Lorentz, Pringsheim y un joven Niels Bohr, las conclusiones mostraban una cuidadosa actitud de prudencia frente a la nueva teoría, argumentándose “que los recursos de la teoría ordinaria no han sido agotados”, llegándose a esgrimir la posibilidad de que la fórmula de Planck no fuese “sino una fórmula empírica”.

Con el transcurso de los años la balanza se fue inclinando a favor de los nuevos conceptos. En el discurso de presentación del Premio Nobel en 1918, se señalaba ya con plena seguridad el carácter innovador del descubrimiento de Planck y su status de teoría reconocida por la comunidad científica:

“La teoría de la radiación de Planck es, en verdad, la base más significativa de la moderna investigación en física, y parece que pasará



un largo tiempo antes de que sean agotados los tesoros que fueron obtenidos por el genio de Planck. La teoría cuántica, originalmente conectada con la radiación del cuerpo negro, ha ahora demostrado su validez para otros campos y relaciones de la Naturaleza, y la constante numérica que lleva su nombre, es un factor de proporcionalidad que describe una propiedad generalizada, pero hasta el presente no conocida, de la materia”.

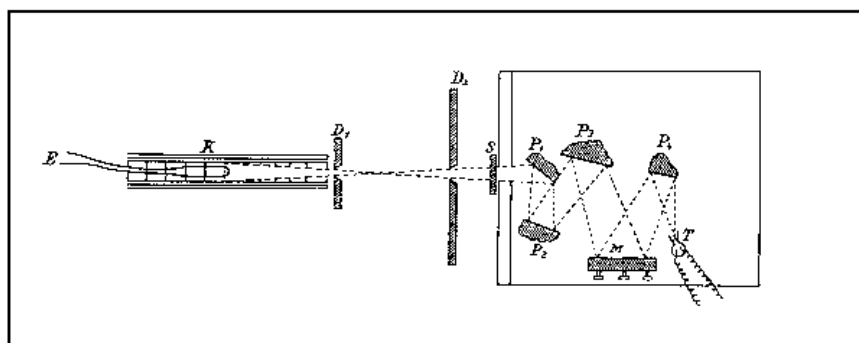
Hasta el año en que Planck fue premiado la teoría cuántica se había aplicado a los calores específicos de las substancias, la Ley de Stokes de los fenómenos de la fosforescencia y la fluorescencia, el efecto fotoeléctrico, la teoría del átomo de Bohr y las experiencias que se derivan. Luego vendrían el efecto Compton, el Raman, la concepción dualística de de Broglie y finalmente la Mecánica Cuántica de Heisenberg, Born, Jordan, Dirac y Schrödinger con sus aplicaciones sin número que por supuesto prosiguen en la actualidad.

### La recepción de los cuanta en la Argentina

Lo mejor del conocimiento en física a principios de siglo estaba en nuestro país radicado en la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires. Los profesores estaban en condiciones de entender y asimilar muchos de los nuevos descubrimientos en el campo de la física, así sucedió por ejemplo en lo que hace a aspectos experi-

mentales con los Rayos X. ¿Hubiese podido suceder algo similar con las primeras teorías cuánticas? Indudablemente no, pues mientras que las primeras experiencias con Rayos X sólo necesitaban una manipulación relativamente sencilla con instrumental presente en todos los laboratorios de la época, la teoría del cuerpo negro demandaba en su parte instrumental un celo verdaderamente profesional, técnicas nuevas, y en la parte conceptual el uso de teorías innovadoras y abstractas.

La nueva temática de los cuantos fue presentada en el ámbito porteño por Camilo Meyer, un inmigrante francés, compañero de estudios de Poincaré, que llegó a Buenos Aires a fines del siglo pasado, dedicándose a la enseñanza secundaria y universitaria. Por la colección de programas del “Curso libre de físico-matemática” sabemos que el curso trató en los seis años que duró los siguientes temas: electricidad y magnetismo, mecánica de Lagrange, la teoría de Maxwell-Hertz, capilaridad, óptica ondulatoria y la teoría del electrón de Lorentz. En el año 1914 el curso incluyó la presentación del principio de relatividad y las nociones de masa longitudinal y transversal. El de 1916, por fin, fue dedicado al estudio de la teoría de los “cuanta”, incluyendo las nuevas ideas de Sommerfeld, la aplicación a los calores específicos por parte de Einstein, que ya había sido tratada en las conferencias de Nernst en el Instituto de Física de La Plata en 1914, y la hipótesis de los magnetones de Weiss.



H. Rubens, F. Kurhbaum, *Annalen der Physik*, 4, 649 (1901). Montaje experimental utilizado por Rubens y Kurhbaum para medir la radiación del cuerpo negro a diferentes frecuencias, en el infrarrojo. K indica el cuerpo negro, luego de varias reflexiones la radiación es medida en T.

Señalemos que los cambios de principios de siglo encontraron a Meyer ya en su madurez, y que por su formación y carácter representaba mucho más a un estudioso conservador del siglo XIX que a un visionario audaz dispuesto a aceptar la riesgosa aventura conceptual implicada por las nuevas teorías. Por otra parte recordemos que la relatividad y la teoría de los cuantos sólo fueron cabalmente aceptadas pasada la primer década del siglo XX.

Su interpretación de la teoría de Planck, conjuntamente con las ideas de Einstein, Nernst, Debye sobre los calores específicos (pero cabe advertir sin mención del efecto fotoeléctrico) fue publicada en el año 1915, en cuatro entregas para los Anales de la Sociedad Científica Argentina.

En una primera parte es presentada la teoría de la radiación y el teorema de equipartición de la energía, elaborándose estos conceptos en la línea de ideas de Lord Rayleigh y Jeans. La segunda parte es dedicada a la teoría de Planck en su versión de 1911. Meyer enuncia estas teorías en una forma un tanto alejada; en realidad para él la etapa cuántica tenía que ser forzosamente transitoria, pues más tarde debía encontrarse “detrás del discontinuo aparente que hasta ahora nos parece irreducible, este continuo amado y familiar al cual no podríamos renunciar sin mucho pesar”. Esta revisión de la teoría de los cuantos fue la primera obra a ellos dedicada y escrita en la Argentina; como ya hemos dicho los artículos fueron reunidos al año siguiente en un solo volumen. Mencionamos en una ocasión la figura de Meyer al Ing. José Babini, quien fue alumno de la carrera de Ingeniería en la misma época en que Meyer era docente, quien nos aseguró que estas clases estaban prácticamente desiertas.

Las investigaciones en Física sólo comenzaron en nuestro país al ser fundado el Instituto de Física de la Universidad Nacional de La Plata, siendo su primer director Emil Bose. El instituto recibió en 1914 la visita de Walter Nernst, cuyas conferencias hicieron mención de las nuevas teorías cuánticas para los calores específicos.

Con el nombre de “Contribuciones al Estudio de las Ciencias Físicas y Matemáticas” se

publicó entre 1914 y 1931 una revista de alta calidad científica, prolija diagramación y rigurosa periodicidad. Sólo podían publicar en la revista los científicos que formasen parte del personal de la Facultad de Ciencias Fisicomatemáticas de la Universidad Nacional de La Plata y quienes hubieran hecho sus investigaciones utilizando elementos de dicha Facultad, vale decir científicos visitantes. Una revisión del índice general muestra que los artículos pertenecen a muy pocos autores, sobresaliendo Richard Gans quien entre 1914 y 1925 aparece firmando 32 artículos que tratan principalmente sobre óptica y electromagnetismo. En lo que hace a nuestro tema es de destacar la investigación publicada en 1919 por Richard Gans y Pereyra Miguez sobre los efectos de luz de baja intensidad. Como era de estilo también se publicó la versión en alemán del mismo texto en *Zeitschrift der Physik*. Este trabajo de Gans recibió fuerte atención en Europa y fue citado por Niels Bohr hacia mediados de la década de los años 20, cuando discutía la posibilidad de la no-conservación de la energía en el efecto Compton.

Cuando aparecieron hacia 1925 los primeros trabajos de Mecánica Cuántica, Ramón Loyarte, director del Instituto, tuvo una reacción rápida y publicó en 1927 un artículo en *Contribuciones* sobre los nuevos desarrollos teóricos en mecánica matricial. Luego publicaría un texto titulado “*La nueva mecánica ondulatoria*”. Anteriormente había publicado en forma de libro las notas de un curso dado en La Plata entre 1920 y 1921 con el título “*La hipótesis de los cuantos en la teoría estadística de la materia y en la teoría de la radiación*”.

Enrique Gaviola, en 1929, recientemente doctorado en Berlín y trabajando en Estados Unidos en el laboratorio de Richard Wood, publicó en *Nature* un artículo donde presentaba una experiencia sobre transiciones entre niveles atómicos que permitía discernir entre diversas interpretaciones de la función de onda. Ese mismo año y en la misma revista inglesa se refiere en otro artículo a la posibilidad de descripciones espacio-temporales de las experiencias atómicas en el cuadro de la mecánica cuántica. Retomó esta discusión, ya siendo profesor en La Plata, en un artículo publicado

en *Contribuciones* y en 1931 dio forma final a sus ideas sobre la interpretación de la nueva física en un texto en el que analiza una larga serie de experimentos en busca del significado de los nuevos conceptos cuánticos.

Tanto en Buenos Aires como en La Plata se enseñaban los principios básicos de la Mecánica Cuántica, pero no había un curso completo y actualizado sobre la nueva temática, la cual permanecía un tanto ajena a los estudiantes. Esta situación comenzaría a cambiar hacia 1943 con la llegada de Guido Beck, cuya presencia y empuje modernizaría los estudios de Física en nuestro país. Así, en 1944, Mario Bunge, uno de sus primeros discípulos, publicaba en la revista estadounidense *Physical Review* un breve artículo sobre nuevas representaciones de las fuerzas nucleares. Pronto se su-

marían José Balseiro, Augusto Battig, Cecilia Mossin Kotin, Damián Canals Frau y otros. En 1950 Juan José Giambiaggi presentaría su tesis de doctorado, bajo la dirección de Alberto González Domínguez, para seguir luego una carrera de gran relieve en el desarrollo de la teoría cuántica de campos. Una nueva generación de físicos hacía de las funciones de onda, los operadores, los conmutadores, los largos cálculos de aproximaciones, y todo el resto de la parafernalia de las nuevas teorías cuánticas, herramientas de trabajo cotidianas. A partir de 1956 la materia Mecánica Cuántica ya figuraba como materia independiente en los planes de estudio de los doctorados en Física de Buenos Aires y de La Plata, ese año el Dr. Mario Bunge fue el profesor de la asignatura en ambas universidades.

## Referencias

- Born, M. (1989). *Atomic Physics*. Dover Publications.
- Chwolson, O.D. (1906). *Traité de Physique*. Paris: Librairie Scientifique A. Hermann.
- de Broglie, L. (1965). *La Física nueva y los cuantos*. Buenos Aires: Editorial Losada.
- Galles, C. (1999). La recepción de la Mecánica Cuántica en la Argentina. *Saber y Tiempo*, 8, pp. 101.
- Gorelik, G. (1995). How Planck Discovered Quantum Gravity Scale. *The emergence of Modern Physics*.
- Hermann, A. (1970). *Frügeschichte de Quanten-theorie (1899-1913)*. Physik Verlag, Mosbach/Baden.
- Hertz H. (1994). *Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894). A collection of Articles and Addresses*. Edited by Joseph F. Mulligan, Garland Publishing.
- Kangro, H. (1976). *History of Planck's Radiation Law*. Taylor and Francis.
- Kuhn, T. S. (1978). *Black-Body Theory and the Quantum Discontinuity. 1894-1912*, Clarendon Press.
- Lakatos, I. (1998). *La metodología de los programas de investigación científica*. Alianza Universidad.
- Lecourt, D. (1999). *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences*. Dirección PUF.
- Merz, J. T. (1903). *A History of European Thought in the Nineteenth Century*, Vol. II. William Blackwood and Sons.
- Planck, M. (1899). *Ueber irreversible Strahlungsvorgaenge. Fuenfte Mitteilung*. Koeniglich Preuss. Akad. Der Wissenschaften, Berlin, Sitzungsberichte, S.440-480.
- Planck, M. (1960). *The Origin and Development of the Quantum Theory. A survey of Physical Theory*. Dover Publications.
- Reiche, F. (1922). *Teoría de los Quanta, su origen y desarrollo*. Madrid: Calpe. Traducción Dr. Julio Palacios.
- Rosenfeld, L. (1936). La première phase de l'évolution de la théorie des quanta. *OSIRIS*, 2, pp.149-196.
- Segré, M. (1976). *Personaggi e Scoperte nella fisica contemporanea*. Edizione Scientifiche Mondadori.