

# LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA A LOS CIEN AÑOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

José Luis Villaveces Cardoso<sup>1</sup>

*Grupo de Química Teórica  
Universidad Nacional de Colombia*

Cien años han pasado desde el artículo seminal de Max Planck en el cual postuló la cuantización de la energía del cuerpo negro. Los siguientes treinta años estremecieron la física, como dijo Gamow. La más profunda de las revoluciones de nuestro pensamiento sobre el mundo físico, desde Copérnico y Galileo, se dio, durante esos treinta años, como consecuencia de la idea original de Planck. Los cambios afectaron fuertemente nuestra concepción física del mundo, nuestra epistemología y las bases mismas de la ciencia y de la filosofía. Al comenzar la cuarta década del siglo era claro que la visión newtoniana del mundo había estado fundamentada sobre supuestos cuestionables o abiertamente falsos. Las nuevas ideas sirvieron de fundamento a los más típicos desarrollos científicos y tecnológicos del siglo XX: la química y la biología molecular, la física del estado sólido, los láseres, la microelectrónica, y con ella el desarrollo vertiginoso de la informática y las telecomunicaciones, son algunos de los hijos mejor conocidos de la Teoría Cuántica, aunque no siempre se reconozca su paternidad.

El mundo jamás volverá a ser el mismo que fue hasta el artículo de Planck.

Esto lo aceptan todos los físicos formados en los últimos cincuenta años y decirlo una vez más puede parecer ya repetición tediosa. Lo extraño es que, a pesar de ello, la física se siga enseñando como se hacía antes de 1900. Esta es, sin duda, una anomalía. Que la más grande revolución en el pensamiento se haya dado hace ya

---

<sup>1</sup>jlwillaveces@colciencias.gov.co

un siglo y nuestros salones de clases no la hayan sentido, nuestros currículos no la hayan incorporado es, por decir lo menos, un problema que cabe estudiar.

No es que sea una situación extraña. Cien años después de Copérnico, los *curricula* de física y de astronomía seguían siendo esencialmente tolemaicos. A Galileo le fue autorizado enseñar cosmología copernicana siempre y cuando avisara que lo hacía sólo *a modo de hipótesis*; pero, cuando la hipótesis comenzó a parecer demasiado convincente, le fue retirado el permiso. Doscientos años después de Copérnico, todavía Mutis fue atacado por enseñarlo en la Nueva Granada. Los profesores de física son devotos de la tradición. Uno de los argumentos por los cuales se encontraba difícil enseñar cosmología copernicana y física newtoniana es porque era contraria al sentido común. En efecto, el sentido común nos indicaba que, si la Tierra se moviera, todos nos marearíamos; si fuera redonda, los antípodas caminarían cabeza abajo, con desagradables consecuencias. Estas son objeciones muy inmediatas del sentido común. Otra, más sofisticada y más persistente, es que el principio de inercia nos repugna a todos: sabemos que un móvil en estado de movimiento tiende a detenerse, y cuando el profesor nos dice que si no hay ninguna fuerza que se oponga al movimiento entonces no se detiene, todos sabemos, en el fondo del corazón, que siempre hay una fuerza que se opone al movimiento. A todos nos repugna la idea de espacio isotrópico. Todos sabemos que no es lo mismo moverse de arriba a abajo que de izquierda a derecha. El espacio del sentido común no es isotrópico, como lo es el contraintuitivo de Newton. Estas y otras dificultades profundas han sido estudiadas y caracterizadas por investigadores cuyo objeto de investigación es el aprendizaje de la física. Se suele decir que en nuestros preconceptos somos aristotélicos o prenewtonianos, o algo así. El diagnóstico preciso no viene a cuento en este momento. Lo que me interesa es señalar que todo el trabajo que ha sido hecho para entender cómo se enseña y cómo se aprende la física clásica muestra que ella es contraintuitiva y se opone al sentido común.

Y, sin embargo, un siglo después de iniciada la revolución cuántica, cuando hemos cambiado por completo nuestra visión del mundo,

hemos generado una epistemología absolutamente nueva y, estamos convencidos, mejor; nuestros profesores de física no se atreven a enseñar teoría cuántica, alegando que ella es contraintuitiva y se opone al sentido común, y con esta ingenua razón se hacen esfuerzos enormes por vencer el sentido común del joven y hacerle creer en la visión del mundo de la física clásica.

Debo hacer en este momento una aclaración necesaria. No me preocupa la enseñanza de la física a quienes van a dedicar a la física la mayor parte de su vida. Es decir, no estoy pensando en las carreras de física o en sus posgrados relacionados. No dudo que a quien quiera ser físico deba enseñársele toda la física clásica y deba aprender todo el modo de pensamiento de Newton y de Galileo. De hecho, también debería enseñársele toda la física preclásica y deberían aprender todo el modo de pensamiento de Aristóteles y de Tolomeo. El imponente edificio conceptual representado en la *Física* y en el *De Cielo* o en el *Almagesta*, y la maravillosa estructura matemática y teórica que estuvo detrás de la cosmología tolemaica, tanto como la comprensión de los ciclos y epiciclos, la diferencia entre las estrellas fijas y las vagabundas y la forma en que la matemática condujo a la construcción de los siete cielos y el firmamento, son una obra intelectual magna que no debería, de ninguna manera, ser desconocida por quien pretende dominar la ciencia física.

Pero no estoy pensando en ellos. Pienso en los muchos profesionales que dedicarán su vida a otras disciplinas o profesiones, basadas directa o indirectamente en la física, en las cuales tendrán que usar nociones y conceptos de la física. Pienso en cómo los dejan lisiados sus cursos de física, con un obstáculo epistemológico fundamental al haberles enseñado a *semipensar* newtonianamente. Pienso en los químicos, que pasarán su vida en el siglo XXI manejando moléculas, de las cuales se harán ingenuas imágenes mecánicas, totalmente precuánticas, como son las que pueblan los textos de química y los artículos de sus mejores revistas. Pienso en los biólogos moleculares o en los agrónomos, o en los médicos, o en tantos otros, que tendrán como elemento de referencia unos átomos y unas moléculas que jamás entenderán porque sus profesores de física no les dieron

un modo de pensar cuántico, sino uno newtoniano y, en vez de hablarles de funciones de onda, de distribuciones de carga, de densidades de probabilidad, o de otros conceptos esenciales para entender el mundo molecular, los atiborraron de posiciones y velocidades simultáneamente bien definidas, de trayectorias bien definidas, de medidas de infinita precisión y de tantos otros conceptos contraintuitivos, que les cuesta mucho trabajo asimilar y que los dejarán de por vida, incapaces de entender y asimilar los fundamentos esencialmente poscuánticos de sus disciplinas. Pienso en todos los ingenieros que tendrán como fundamento de su acción la electrónica o la óptica y tendrán que tratar de entenderlas con burdas imágenes antropomórficas porque sus profesores de física les inculcaron en la base los fundamentos de la física clásica y nunca tuvieron tiempo después de desaprenderlos a fondo y reemplazarlos por los conceptos fundamentales de sus disciplinas, totalmente cuánticos, con el argumento de que estos también eran contraintuitivos.

La física tiene hoy una tarea que no puede seguir rehuendo, cien años después del trabajo de Max Planck, y es la de cómo enseñar los fundamentos de física a todos aquellos que se servirán a lo largo de sus vidas de conceptos esencialmente cuánticos, sin ser físicos. Creo que la mejor forma de hacerlo es entrar directamente a realizar el trabajo pedagógico con el joven que se inicia en los arcanos de la física a partir de la teoría cuántica. Creo que es mucho mejor hablarle, para comenzar, de observables y de operadores que de medidas infinitamente precisas y de ecuaciones diferenciales que se pueden integrar para dar trayectorias bien definidas y totalmente irreales, pero sobre todo, epistemológicamente incorrectas. Creo que es mejor hablar de funciones de estado de una vez que de ecuaciones de la trayectoria. Creo que no es más difícil que un joven o una chica que no hayan pensado mucho en física asuman de entrada una manera de pensar basada en los postulados de von Neumann que lo que cuesta asimilar las extrañas leyes de Galileo y Newton.

De hecho, no estoy hablando en el vacío o desde el sólo deseo. Estoy hablando después de diez años de experiencia de intentar hacerlo. Cuando a finales de la década del ochenta se discutía la

reestructuración de las carreras de la Facultad, planteamos desde la Carrera de Química de la Universidad Nacional este problema al Departamento de Física. La respuesta fue desalentadora. No llegó muy lejos el debate intelectual. Recibimos sobre todo la repetición de un Santo Credo pedagógico según el cual la docencia debe seguir el desarrollo de los conceptos y los nuevos conceptos sólo pueden enseñarse después de haberlo hecho con los antiguos, de los cuales provinieron. Credo que es curiosamente violado para todo lo que no sea cuántico, pues estos mismos defensores de la formación histórica de los conceptos no enseñan los epiciclos antes de las órbitas, ni el calórico antes de la energía. De hecho, el debate no dejó de tener ribetes chovinistas: ¡Cómo se atrevían los químicos a opinar sobre temas tan sagrados de la física!

Cualesquiera hayan sido las causas y las motivaciones, el hecho es que los cursos de física para la carrera de química siguieron siendo lo que habían sido en las tres décadas anteriores y nos tocó crear un grupo de cursos denominados “Química Teórica” en los cuales tenemos como objetivo enseñar en tres semestres al estudiante de química lo esencial de la teoría contemporánea de la estructura molecular y, por lo tanto, hacia la mitad de estos tres semestres, es decir unos diez meses después de haber terminado el bachillerato, debe estar en capacidad de seguir la solución de la ecuación de Schrödinger independiente del tiempo para el átomo de hidrógeno, de tal manera que el resto del curso lo lleve a los métodos contemporáneos de la química cuántica y le permita hacer cálculos tipo Hartree–Fock para moléculas con programas comerciales entendiendo bien lo que sucede.

Esta no es una solución óptima, ni mucho menos. Habría sido mucho mejor realizar esta experiencia pedagógica integrando bien los cursos de Química Teórica con los de Física y Matemáticas y ésta sería una tarea importante de acometer todavía en el inmediato futuro. Si bien no se requieren conocimientos previos de física para empezar a hablar de operadores y de funciones de onda, sí sería mejor estudiar la teoría atómica con mejores bases de electromagnetismo. Mejores que las que traen los bachilleres y mejores que las que obtienen de sus cursos de “Física General”.

Los resultados de nuestra experiencia son halagadores. No sólo aprenden en efecto química cuántica, sino que algunos estudiantes quedan mucho más motivados por aprender física. En esta década se han dado bastantes casos de estudiantes de química que deciden tomar con los de física los cursos de Estructura Atómica y de Mecánica Cuántica y lo hacen con muy buenos resultados. Incluso se han empezado a ver los trabajos de grado para optar al título de químicos realizados bajo la dirección de profesores de física en temas de frontera, como el de la superconductividad, con resultados excelentes. Por su parte, algunos de los estudiantes que han visto estos cursos de Química Teórica, y deciden hacer sus trabajos de grado en este campo cuatro años después, han realizado investigaciones que han sido presentadas en Congresos Internacionales, y tan excelentes que han podido pasar, en varios ejemplos, a ser publicadas en revistas arbitradas internacionales. Sin duda, el nivel científico de los estudiantes ha aumentado notoriamente al tomar estos cursos, lo cual demuestra que el esfuerzo vale la pena.

Repito, el ejemplo de lo que hemos logrado es interesante, aunque esté lejos de lo óptimo. Si lo presento acá es porque muestra que es posible enseñar teoría cuántica sin física clásica con buenos resultados y que, por lo tanto, es una tarea indispensable que los físicos asuman la investigación seria que conduzca a hacerlo muy bien. El formar a la próxima generación con los conceptos fundamentales bien organizados desde el principio sería el mejor homenaje que pudieran hacer a Max Planck y a los demás pioneros que cambiaron nuestra concepción del mundo, ¡así sea con cien años de retardo!