

FÍSICA CUÁNTICA Y FILOSOFÍA

EN EL OTOÑO DE 1927, con ocasión del famoso Congreso Solvay, la escuela de Copenhague, encabezada por Niels Bohr y Werner Heisenberg, dio a conocer públicamente su interpretación indeterminista de la mecánica cuántica. Nota llamativa del Congreso fue la oposición de Einstein a las tesis indeterministas. “El buen Dios”, insistía una y otra vez en las discusiones el autor de la teoría de la relatividad, “no juega a los dados” con el mundo (“Der liebe Gott würfelt nicht”).

Las teorías de Einstein y las teorías de Heisenberg no parecen, ciertamente, conciliables. Es curioso, sin embargo, comprobar hasta qué punto fue semejante el patrón heurístico que inspiró a ambos físicos sus respectivos hallazgos. La reciente autobiografía científico-filosófica de Werner Heisenberg,¹ que ha sido por muchos meses uno de los libros más vendidos en Alemania, brinda ocasión para subrayar esta semejanza.

Es sabido que uno de los aspectos más característicos del concepto de ciencia de Einstein —aspecto que lo mantiene bien lejos de lo que pudiera llamarse un empirismo vulgar— es la idea de que la teoría no es el fruto de la experiencia, sino la condición de ella. Según esta idea —que tan notoriamente ha influido en la filosofía de la ciencia de Popper—, en cualquier dilema entre observación y teoría, será siempre esta última quien decida. Como el propio Einstein se expresó en conversación personal sostenida con Heisenberg hacia 1926: “sólo la teoría decide lo que se puede observar”.²

¹ DER TEIL UND DAS GANZE. Gespräche im Umkreis der Atomphysik (LA PARTE Y EL TODO. Diálogos en el entorno de la física atómica), München, Piper Verlag, 1969, 334 págs.

² “Erst die Theorie entscheidet darüber, was man beobachten kann”, *o. c.*, pág. 92.

De hecho, la drástica revisión einsteiniana del concepto observable de medida del tiempo (revisión que llevaba consigo la eliminación de la idea tradicional de tiempo absoluto), estuvo aconsejada e impuesta por razones estrictamente teóricas, como lo es, en última instancia, el postulado empírico de constancia de la velocidad de la luz. De este modo el "observacionismo" de Einstein no es la antítesis, sino la consecuencia de una actitud "teoreticista".³

Pero algo muy similar acontece con el llamado observacionismo de Heisenberg. La revisión por él efectuada de conceptos observables tradicionales, viene a ser, si cabe, todavía más drástica que la de Einstein. Pero obedece análogamente a una exigencia teórica, impuesta en este caso por el principio de incertidumbre.

A continuación traduzco, a guisa de ilustración, el pasaje de *Der Teil und das Ganze* relativo al descubrimiento de ese principio. En febrero de 1927 Bohr, enervado por el intenso trabajo, decide pasar una temporada de descanso en Noruega y se despide de Heisenberg, que queda en Copenhague a solas con sus pensamientos. Es el dramático momento que precede al establecimiento de las relaciones de indeterminación.⁴ Pero es justamente en este momento cuan-

³ Una exposición muy clara de este punto de vista se encuentra, por ejemplo, en la conferencia de Einstein "On the Method of the Theoretical Physics", publicada en Oxford, 1933 (Esta conferencia se encuentra asimismo recogida en "Mein Weltbild", Amsterdam 1934, y en "The World as I See It", New York 1934).

⁴ Los años 1924-1926 fueron decisivos para la elaboración de un cuerpo matemático unificado de la teoría (mecánica de matrices de Heisenberg, mecánica ondulatoria de Schrödinger). Pero el problema de una interpretación física de la misma que resultase satisfactoria a todos quedaba en pie.

Fue el citado año 1927 cuando la escuela de Copenhague ofreció la teoría que hoy cuenta con mayor número de adeptos. Antojándoseles insuficiente la interpretación inherente a la mecánica ondulatoria de Schrödinger, exclusivamente basada en la imagen-onda, Bohr y Heisenberg lograron, tras un período de largas y atormentadas discusiones, esbozar cada uno por su cuenta una interpretación compatible con la dualidad de imagen corpuscular y ondulatoria de los fenómenos. Tal fue el origen y el significado del *principio de complementariedad* (Bohr) y de las *relaciones de incertidumbre* o *principio de indeterminación* (Heisenberg).

do cobra peculiar relieve el parangón de la actitud metódica de Heisenberg con la actitud metódica de Einstein.

Para facilitar la lectura del pasaje, lo divido en apartados cuyo sentido epistemológico indico en los correspondientes epígrafes:

1. *Primer (e infructuoso) planteamiento de un dilema entre observación* (en este caso concreto el concepto observable "trayectoria del electrón") *y teoría* (en este caso concreto el cuerpo de esquemas matemáticos de la mecánica cuántica).

"Concentré por entero mis esfuerzos en la cuestión de saber cómo la trayectoria de un electrón en la cámara de niebla ha de ser matemáticamente representada en la mecánica cuántica. Mas al enfrentarme, ya en una de las primeras tardes, con dificultades completamente insuperables, ocurrióseme la idea de que acaso la cuestión estuviese mal planteada. Pero ¿dónde podía residir el error? La trayectoria del electrón en la cámara de niebla estaba dada, se la podía observar. El esquema matemático de la mecánica cuántica era algo que también estaba dado y resultaba hartamente convincente para admitir en él nuevas alteraciones. En consecuencia—y contra toda apariencia exterior—tenía que ser posible el establecimiento de una conexión entre ambos.

2. *Apelación a la norma heurística sugerida por Einstein según la cual la teoría es condición de la experiencia.*

Puede que fuese hacia la media noche de aquel día cuando súbitamente se me vino al pensamiento mi conversación con Einstein y recordé su indicación: 'sólo la teoría decide lo que se puede observar'. Al punto quedó claro para mí que era por ahí por donde había que buscar la llave de la puerta por tanto tiempo cerrada. A continuación de lo cual emprendí un paseo nocturno por el Fälldpark para meditar sobre las consecuencias del aserto de Einstein.

3. *Revisión crítica, conforme a esa norma, del extremo más débil del dilema* (esto es, del concepto observable "trayectoria del electrón").

Una y otra vez habíamos venido diciendo: la trayectoria del electrón en la cámara de niebla puede ser observada. Pero acaso lo realmente

observado fuese algo menos que eso. Acaso lo único que pudiera ser percibido fuese una serie discreta de numerosas posiciones, inexactamente determinadas, del electrón. De hecho, sólo se ven en la cámara gotitas aisladas de agua, que son, con seguridad, mucho más extensas que un electrón.

4. *Segundo (y correcto) planteamiento del problema y solución teórica del mismo* (establecimiento de las relaciones de indeterminación).

La cuestión correcta debiera, por tanto, ser planteada así: ¿es posible representar en la mecánica cuántica una situación en la que un electrón se encuentre aproximadamente—es decir, con una cierta inexactitud—en un lugar dado, y al mismo tiempo posea aproximadamente—es decir, de nuevo con una cierta inexactitud—una velocidad dada, y es posible hacer que estas inexactitudes sean tan pequeñas que no dificulten el experimento? Un breve cálculo efectuado a mi regreso al Instituto confirmó que tales situaciones pueden ser matemáticamente representadas, y que para las mencionadas inexactitudes valen esas relaciones que más tarde se designaron como relaciones de indeterminación. El producto de las indeterminaciones para lugar y magnitud de movimiento (por magnitud de movimiento se entiende el producto de la masa por la velocidad) no puede ser más pequeño que la constante de acción de Planck. Con ello quedaba, así me lo parecía, definitivamente establecida la conexión entre las observaciones en la cámara de niebla y la matemática de la mecánica cuántica.⁵

⁵ *O. c.*, 111-112. Puede ser interesante compulsar a este respecto el contenido de este otro texto paralelo del propio Heisenberg: "The [solution]... was a turning around of the question. Instead of asking: How can one in the known mathematical scheme express a given experimental situation? the other question was put: Is it true, perhaps, that only such experimental situations can arise in nature as can be expressed in the mathematical formalism? The assumption that this was actually true led to limitations in the use of those concepts that had been the basis of classical physics since Newton. One could speak of the position and of the velocity of an electron as in Newtonian mechanics and one could observe and measure these quantities. But one could not fix both quantities simultaneously with an arbitrarily high accuracy. Actually the product of these two inaccuracies turned out to be not less than Planck's constant divided by the mass of the particle. Similar relations could be formulated for other experimental situations. They are usually called relations of uncertainty or principle of indeterminacy. One had learned that the

Kant había escrito que la actitud del científico cuando interroga a la naturaleza no es servil ni pasiva, sino activa, semejante a la del juez que interroga al testigo y determina con sus preguntas la dirección del interrogatorio. Tal fue en su tiempo la actitud de Galileo y Torricelli y tal ha sido también hoy, llevada al extremo, la actitud de Einstein y Heisenberg.

Sin embargo el paralelo entre relatividad e incertidumbre no puede ir más lejos. La revisión de lo observable en Einstein tiene una significación estrictamente metodológica y sus resultados se incardinan en el marco de una imagen física determinista del universo y un realismo absoluto a la manera de Spinoza. Heisenberg, por su parte, extrapola la referida actitud metódica al orden físico y real para sugerir, a la manera de Berkeley, que, en el liliputiense mundo intraatómico, los fenómenos físicos sólo son en la medida en que son observados.

* * *

Es tópico decir que el pensamiento del grupo de Copenhague encuentra su expresión filosófica en el positivismo lógico del Círculo de Viena. Y es cierto que la mayoría de los miembros del Círculo de Viena apoyan su filosofía en los resultados de la física de Bohr y Heisenberg. Pero no es cierto que Heisenberg y Bohr manifiesten demasiada inclinación por esa filosofía.

A la idolatría de los positivistas por el lenguaje responde por parte de los componentes del grupo de Copenhague, un punto de vista mucho más flexible e irónico sobre los poderes del habla.

Ni tampoco comparte el grupo de Copenhague el soberano y dogmático desprecio manifestado por el Círculo de Viena a toda afirmación que osase rebasar las fronteras de lo verificable.

A este respecto es particularmente sugestivo el diálogo sobre Dios y la religión, sostenido en un hotel de Bruselas

por Heisenberg, Pauli y Dirac. Más tarde intervendría también Bohr.

La idea sobre Dios permite clasificar a los físicos por generaciones. Las opiniones de Planck y Einstein revelan un talante más bien conservador. Planck era partidario de la coexistencia pacífica entre ciencia y religión. La ciencia informa objetivamente sobre hechos de experiencia externa, y la religión sobre hechos de experiencia interna. La fuente de conocimiento de la primera es objetiva: la naturaleza. La fuente de la segunda es intimista y subjetiva: la comunidad cultural. Las ideas de Einstein eran más tajantes y conducían a la tesis de la identidad de ciencia y religión al modo spinozista. Según esta tesis, que trivializaría el sentido de cualquier religión histórica, Dios es igual al universo y las leyes de la naturaleza son las leyes de la divinidad.

El genial físico descubridor de la antimateria Paul Dirac, que por entonces contaba apenas 25 años, emite juicios sobre el problema de Dios que recuerdan por su radicalismo las viejas tesis de Lucrecio:

“El concepto de Dios es mero producto de la fantasía humana. Se comprende que los pueblos primitivos, más sujetos que hoy nosotros al imperio de las fuerzas naturales, personificasen estas fuerzas para escapar a su angustia, y así llegaran al concepto de Dios. Pero en el mundo actual, en el que los nexos naturales nos son evidentes, no hay ya necesidad de tales representaciones. Que la hipótesis de la existencia de un Dios omnipotente pueda seguir prestándonos la más leve ayuda, es cosa que yo no alcanzo a ver. Lo que sí puedo ver es que una hipótesis semejante conduce al planteamiento de cuestiones sin sentido, como lo es, por ejemplo, la de saber por qué, si está en su mano impedirlo, permite Dios la desgracia y la injusticia en nuestro mundo, la opresión de los pobres por los ricos y tantos horrores más”.⁶

⁶ *O. c.*, pág. 120. A la influencia de Lucrecio, el joven Dirac parece unir la de Marx: “El hecho de que, en nuestros días, se continúe impartiendo la enseñanza de la religión, no tiene por razón de ser el poder de convicción de sus contenidos, sino más bien el oculto propósito de acallar al pueblo. Los individuos pacificados son más fáciles de gobernar, y por ende, de utilizar y explotar, que los inquietos e insatisfechos. La religión es como un opio que se administra al pueblo con el propósito de mecerlo en felices y nostálgicos ensueños que le sirvan de consuelo de las injusticias de que es víctima”, *o. c.*, pág. 121.

Bohr y Heisenberg atemperan el crudo intercambio de opiniones con una prolongada conversación de sutiles matices. Bohr la remata con esta anécdota. Un hombre cuelga una herradura en su puerta. El vecino, escandalizado por el supersticioso acto, pregunta: "pero ¿de verdad crees que eso te traerá suerte?" Y obtiene por respuesta: "naturalmente que no; pero dicen que también ayuda a los que no creen en ella".

El lector de *Der Teil und das Ganze* sigue fascinado las incidencias de este y otros diálogos —cuyos interlocutores no son, precisamente, aldeanos— y le asalta la sospecha de que acaso el contacto habitual con la realidad sirva al físico profesional de antídoto contra el complejo de castración verificacionista y le permita hablar sin reparos de problemas que hoy desencadenarían los mecanismos de inhibición de más de un filósofo.

M. GARRIDO