

Física cuántica y realidad

Carlos Rojas Osorio
Catedrático- Departamento de Humanidades
UPR-Humacao

Imago mundi hodierna, nulla imago.
(Máxima antigua de autor desconocido)

Resumen

Un libro reciente por un prestigioso autor indio sirve de base documental para exponer las líneas fundamentales de la física cuántica a partir del siglo XX. Establecidas las posiciones de los diversos científicos de esta época, y contrastadas con aquellas de los físicos de la llamada época moderna, el autor procede a caracterizar las diferencias filosóficas entre ambas épocas y entre científicos individuales, y las implicaciones que las mismas tienen para el establecimiento de una concepción renovada de lo que es la Realidad. Enumera cinco diferencias principales. En cuanto a las divergencias entre los físicos cuánticos, apoyado en Mario Bunge, de quien es especialista, reconoce la posición realista de este (frente a visiones filosóficas platonizantes o que tienden al fenomenismo) e igualmente, la posición materialista en el sentido en que materialismo se opone a un mero descriptivismo de lo conocable.

Palabras clave: discontinuidad, indeterminismo, no-localidad, dualidad onda-partícula, realismo

Abstract

A recent book by an outstanding Indian author functions as a documentary exposition of the basic lines of quantum physics from the 20th Century on. Once the positions of the various scholars of this period have been established and compared with the views of the previous “modern” era, the author proceeds to characterize the philosophical differences between both periods and between individual scholars, and their implications for the establishment of a new conception of what Reality may be. He names five main differences. In relation to divergent conceptions among quantum physicists, he relies in Mario Bunge’s views (of whose works the author is a specialist), recognizing his realism, as opposed to views reminiscent of Plato’s, or tending to a certain phenomenalism, and equally establishing his materialist conception in the sense in which this position diverges from a mere descriptivism of experiential knowledge.

Key words: discontinuity, indeterminism, non-locality, wave-particle duality, realism

El presente escrito es una sinopsis y comentario al libro de Manjit Kumar: *Quantum. Einstein/Bohr y el gran debate sobre la naturaleza de la realidad*. El autor, físico y filósofo, narra la historia de la mecánica cuántica a lo largo del siglo XX, lo hace con

mucho detalle y con especial énfasis en la cuestión filosófica del impacto que dicha teoría tiene en nuestra concepción de la realidad. Es decir, lo que es más interesante de esta obra son los varios y complejos problemas que la física cuántica plantea a la pregunta por el ser

y devenir de la realidad. Entre dichos problemas están el cuestionamiento del determinismo, la dualidad onda/partícula, la no-localidad, la discontinuidad y la oposición fenómeno/realidad.

Max Planck, con mucho disgusto para su concepción clásica, propuso que la acción de la energía es discreta, es decir se produce por pequeños cuantos, y no en forma continua como se había pensado. Einstein mostró que los fotones son partículas de luz, lo cual iba contra la teoría aceptada desde Huyghens y Fresnel del carácter ondulatorio. Niels Bohr pensaba que al nivel atómico no eran válidas las leyes de la física clásica. Esto lo llevó a cuantizar las órbitas en la que se mueven los electrones. El movimiento de los electrones se restringe a ciertas órbitas especiales en “las que no pueden emitir radiación continua”.¹ Estas órbitas restringidas las denominó estados estacionarios. “Solo estaban permitidas aquellas órbitas en las que momento angular es un número entero multiplicado por h y dividido por 2π ”. (143); (h es la constante de Plank). Dentro del átomo el momento angular se halla cuantizado; consecuencia de ello es que la energía que tienen los electrones también lo está. Otra consecuencia de ello es que “resulta imposible identificar dónde se encuentra durante un determinado momento del salto, un electrón; es decir durante la transición entre una órbita y otra, o lo que es lo mismo, entre un nivel de energía y otro, puesto que dicho salto ocurre instantáneamente. Bohr recibió el apoyo de Einstein, como también este lo había dado a Max Planck con su teoría del cuanto de acción. En julio de 1913, Bohr publicó una primera parte de una trilogía de artículos en los que explicaba su

teoría. Solo entonces se le ofreció un puesto de profesor en la Universidad de Copenhagen.

Aquí comenzamos a ver que una consecuencia de la teoría cuántica del átomo es la necesidad de renunciar a una causalidad estricta tal como la concebía la física clásica y la necesidad de admitir la teoría de probabilidades en el mundo cuántico. Por ejemplo, los átomos radioactivos degradan; tienen una vida media (un tiempo) en la cual se habrá desintegrado la mitad de los átomos que había al inicio; pero no hay manera de saber cuándo empezó a degradar un determinado átomo. La emisión es espontánea y representa la vida media de una muestra radiactiva. Se puede calcular la probabilidad de lo que ocurrirá en una transición instantánea, pero los detalles concretos son azarosos “y ajenos a toda conexión causa efecto”. (175) Aunque Einstein apoya a Bohr en la teoría de la cuantización que acabamos de ver, sin embargo empieza a estar inconforme con la introducción del azar y la probabilidad en el dominio cuántico, y esperaba que futuras teorías podrían resolverla a favor de una versión determinista.

Otro concepto que introduce Bohr es el principio de correspondencia. Las reglas cuánticas se aplican a nivel atómico, pero la observación del laboratorio sigue gobernada por las leyes de la física clásica. Dicho de otra manera, es necesario no extrapolar los resultados de la física atómica a nivel macroscópico; pues los experimentos se hacen a nivel macroscópico donde rige la física clásica.

Einstein propuso que la luz está constituida de corpúsculos o cuantos de

luz. El efecto Compton favorece la tesis de los cuantos de luz. El efecto Compton implica que se da un aumento de la longitud de onda de los rayos X cuando son desviados por los electrones. Por su parte De Broglie propuso que la idea de Einstein de los cuantos de luz debía generalizarse para todas las partículas materiales y en especial para los electrones. Las partículas se comportan como ondas luminosas. “Si la materia posee propiedades ondulatorias, un rayo de electrones debería dispersarse como un rayo de luz, es decir, bifurcándose”. (209) De acuerdo a De Broglie “un grupo de electrones que atraviesa una pequeña abertura debe presentar efectos de difracción”. (209) Esta difracción de los electrones fue probada experimentalmente por Clinton Davidson. El microscopio electrónico se hizo sobre la base de la teoría ondulatoria del electrón. “En ocasiones la materia se comportaba como una onda dispersa sobre una amplia región del espacio, mientras que en otras lo hacía como como una partícula, ocupando entonces una posición definida en el espacio”. (212)

Pauli agregó el principio de exclusión. En efecto, el modelo de Bohr solo podía funcionar si había una restricción al número de electrones de cada capa. “No puede haber en un átomo dos electrones que posean el mismo conjunto de cuatro números cuánticos”. (221) Las propiedades químicas del electrón no dependen del número de electrones, sino de la distribución de sus electrones de la valencia. El principio de exclusión de Pauli proporcionaba la explicación subyacente de los elementos de la tabla periódica y el cierre de las capas de gases raros químicamente inertes. El espín es el cuarto número cuántico de que

habla Pauli. El espín del electrón es un concepto cuántico. El electrón puede generar su propio campo magnético y actuar como una especie de barra imantada subatómica. El electrón puede alinearse en la misma dirección que un campo magnético externo o en la dirección opuesta.

Realidad y fenómeno

Heisenberg propone diferenciar con claridad lo que en la nueva física es observable de lo que no lo es. “Y como la órbita del electrón alrededor del átomo de hidrógeno no es observable, Heisenberg decidió abandonar la idea”. De lo cual se seguía que era mejor no representar pictóricamente cualquier posible visualización de lo que acontece en el átomo. “Decidido a ignorar lo que no era observable, centró su atención en aquellas magnitudes que podían ser medidas en el laboratorio, como las frecuencias o intensidades de las líneas espectrales asociadas a la luz emitida o absorbida cuando un electrón salta de un nivel específico a otro”. (256) También Pauli estuvo de acuerdo: “debemos adoptar nuestros conceptos de la experiencia”. (256) Heisenberg adopta “el credo positivista de que la ciencia debe basarse en hechos observables y tratar de erigir una teoría exclusivamente basada en magnitudes observables”.(257) Heisenberg estaba convencido de que “solo las relaciones entre cantidades observables, es decir, entre las que pueden ser medidas, son en realidad posibles”. (262)

El probabilismo aparece tanto en la mecánica matricial de Heisenberg como en la interpretación que hace Born de la matemática elaborada por Schrödinger para su teoría ondulatoria de la mecánica cuántica. Schrödinger creía que su mecánica ondulatoria restituía la continuidad y el determinismo causal; pero Born se mostró

en desacuerdo con esa confianza. “A diferencia del intento de Schrödinger de representar una imagen de antigua inspiración newtoniana, Born utilizaba la mecánica ondulatoria para esbozar la imagen surrealista de una realidad discontinua, acausal y probabilística. Esas dos imágenes de la realidad se apoyaban en dos interpretaciones diferentes de la llamada función de onda de Schrödinger”. (287) Las partículas se ubican en un determinado lugar; las ondas no se ubican en un determinado lugar sino que, en cambio, son “perturbaciones que transmiten energía a través del medio”. (287) La función de onda de Schrödinger representa la onda y su forma en un momento determinado. Born acepta el formalismo de la teoría ondulatoria, pero rechaza la interpretación que le da Schrödinger. La interpretación de Born era nuevamente probabilista. “Niels Bohr no tardaría en afirmar que un objeto microscópico como un electrón no existe hasta el momento en que hacemos una observación o realizamos una medida. Entre una medida y la siguiente no existe más allá de las posibilidades abstractas de la función de onda. Solo cuando se lleva a cabo una observación o medida, ‘la función de onda colapsa’; uno de los estados ‘posibles’ del electrón se convierte en estado ‘real’ y la probabilidad del resto de las alternativas pasa a ser cero”. (295) Lo que Schrödinger había descubierto, la función de onda, era para Born una onda de probabilidad, y no existen ondas electrónicas reales. Born concluyó que en el mundo micro-físico debemos renunciar al determinismo. Por eso escribió: “No existe, desde el punto de vista de nuestra mecánica cuántica, cantidad alguna que, en un caso individual, determine causalmente el

efecto de una colisión”. (cit., 295) Tanto Schrödinger como Einstein se mostraban inconformes con la interpretación probabilista de Born.

Un nuevo golpe al determinismo surgió con el principio de incertidumbre de Heisenberg. Se establecen nuevas restricciones a lo que puede observarse. El principio de indeterminación, también denominado de incertidumbre, prohíbe la exacta determinación a la vez de la posición y el momento de una partícula. No es posible determinar ambos datos al mismo tiempo. “Ese es el precio puesto por la naturaleza para conocer exactamente una de ambas variables. En la danza cuántica, cuanto más exactamente medimos una de esas variables, más imposible resulta de determinar la otra”. (311) Los experimentos a nivel subatómico parece que no pueden superar la restricción impuesta por el principio de incertidumbre. Heisenberg supone, además, que “en ausencia de experimento destinado a medirlo su posición o su momento no existe. No existe el electrón que posea una posición o un momento claramente definido”. (316) Al determinar la posición de un electrón, se crea un electrón con una posición. Y al determinar un electrón con un momento preciso se crea un electrón con un momento. La idea de un electrón con un momento y una posición definidos carece de sentido.

Kumar anota que esta manera de definir los conceptos se denomina “operacionalismo” y su idea se remonta al físico y filósofo Ernst Mach. El camino de un electrón en una cámara de niebla es, para Heisenberg, no un camino sino un punto del camino. El término camino de un electrón carece de sentido.

La razón es que para definir la posición del electrón en el supuesto camino en una cámara de niebla, es necesario lanzarle un rayo de fotones gamma, con lo cual introducimos una perturbación que genera incertidumbre sobre el trayecto seguido.

Bohr introdujo el principio de complementariedad. La regla de la complementariedad aplica a la dualidad partícula/onda. “Las propiedades ondulatoria y corpuscular de los electrones y de los fotones, de la materia y de la radiación, son aspectos mutuamente excluyentes, aunque complementarios, del mismo fenómeno. Ondas y partículas son, en suma, las dos caras de la misma moneda”. (323-324) No se conocen experimentos en que se revele al mismo tiempo la dualidad onda o partícula. Son dos tipos de observación paralelas, complementarias, pero diferentes. Bohr afirma que “no hay una imagen que pueda abarcar la evidencia obtenida en condiciones diferentes, sino que debe ser considerada como *complementaria*, en el sentido de que solo la totalidad del fenómeno agota la posible información sobre los objetos”. (324) Bohr interpretaba el principio de incertidumbre como una regla que prohíbe la simultánea observación y medición de variables pares pero complementarias como posición y momento. Pero Bohr iba más allá y suponía que en realidad no solo nos limitamos a conocer lo observable y medible, sino que lo que hace la física es una interacción entre el objeto cuántico y el equipo experimental del laboratorio. “Ya no es posible establecer la estricta separación establecida por la física clásica entre el observador y lo observado, es decir, entre el equipo utilizado para llevar a cabo una medida y

lo que se está midiendo”. (327) No puede llevarse a cabo ningún experimento cuántico sin llevar a cabo una perturbación en el fenómeno investigado. Es el tipo de experimento que se realiza el que muestra que se trata de un corpúsculo o de un movimiento ondulatorio. El efecto fotoeléctrico muestra la faz corpuscular de la luz. El efecto Compton muestra la faz ondulatoria de los rayos de luz. Carece de sentido afirmar si la luz es una partícula o una onda. En algunos experimentos la luz se comporta como una onda y en otros como una partícula.

Determinismo

El mayor vocero del determinismo en la física clásica fue el astrónomo Pierre Simon de Laplace. Laplace consideraba que si conocemos el estado presente del universo, podemos predecir su estado futuro y retrodecir sus estados pasados. Heisenberg aborda la cuestión afirmando que “ni siquiera en principio es posible conocer en detalle el presente”. (332) Lo que se puede predecir es cierta probabilidad de que ocurra un determinado efecto dentro de una amplia variedad de posibilidades. La física cuántica abandona el determinismo clásico. Pero Heisenberg parece rechazarlo por completo, pues se refirió, entonces, al “fracaso final de la causalidad”. (333)

“La realidad que Bohr contemplaba es, en ausencia de observación, inexistente. Un objeto microfísico carece, según la interpretación de Copenhague de propiedades intrínsecas. El electrón simplemente no existe en ningún lugar hasta el momento en que, para ubicarlo, llevamos a cabo una observación”. (348)

Para Bohr la ciencia se limita a un ordenamiento de la experiencia. En cambio, Einstein seguía pensando que la finalidad del estudio científico de la naturaleza es “determinar lo que es”; es decir, apresar la naturaleza independientemente de la observación. Para Heisenberg los objetos cuánticos son potencialidades, no cosas reales como las que percibimos en la vida cotidiana. “La transición entre lo posible y lo real solo sucede, según Bohr y Heisenberg, durante el acto de observación. No existe realidad cuántica subyacente que exista independientemente del observador”. (349) En cambio, para Einstein la creencia en una realidad que es independiente del observador es una pieza fundamental de la ciencia de la naturaleza. La polémica de la física cuántica había llegado al núcleo filosófico de la naturaleza de la realidad y de los objetivos que nos proponemos con la ciencia. “Era la pérdida de una realidad independiente y objetiva y no la probabilidad, es decir, el hecho de que Dios juegue a los dados, lo que Einstein encontraba inaceptable”. (361) De todos modos a Einstein se le hace extraño aceptar el papel fundamental del azar en la física contemporánea.

Einstein planteó numerosas objeciones con experimentos mentales. Pero Bohr siempre pudo responder a esas objeciones. Einstein se aferraba a sus ideales. Había reconocido la fortaleza científica de la nueva teoría cuántica, pero filosóficamente no estaba convencido. Para Einstein la mecánica cuántica no es una interpretación completa de la naturaleza. Como escribió a Arnold Sommerfeld: la mecánica cuántica puede ser “una teoría correcta de las leyes estadísticas, pero es una concepción inadecuada de los procesos elementales individuales”.

(365) Pensaba que esa consideración meramente estadística era correcta pero pasajera.

Einstein era un firme creyente en la localidad. “La localidad excluye la posibilidad de que un evento que se halle en una determinada región del espacio influya, de forma instantánea y más veloz que la luz, en otro evento que se halla en cualquier otro lugar”. (402) Para Bohr si dos partículas A y B interactuaron alguna vez, aunque luego se separen, seguirán entrelazadas formando un único sistema, sin que puedan ser consideradas partículas separadas. Parecería que hay una influencia instantánea a distancia. Con esto se viola el principio de localidad. Medir algo en una partícula A es medir también en la partícula B si estuvieron unidas en un momento. Este es el fenómeno que se ha denominado ‘entrelazamiento’.

Bell descubre que “es posible decidir entre predicciones de la mecánica cuántica y cualquier teoría local de variables ocultas midiendo las correlaciones de pares de electrones para un determinado conjunto de detectores de espín y repitiendo luego el experimento con una orientación diferente”. (449) “El teorema de Bell afirma que ninguna teoría local de variables ocultas podrá reproducir el mismo tipo de correlaciones que la mecánica cuántica”. (449) Muchos consideraban que la disputa entre Einstein y Bohr era de naturaleza filosófica. Pero los planteamientos de Bell llevan la cuestión más allá del plano filosófico, lo conducen al terreno experimental. John Clauser, en 1969, ideó un experimento en que se podía poner a prueba la tesis de Bell. En 1972

se llevaron a cabo los experimentos que probaban las desigualdades de Bell, y que, por tanto, favorecían la no-localidad, la acción a distancia, contra la cual Einstein se había pronunciado. El físico francés Alain Aspect llevó a cabo también experimentaciones sobre el teorema de las desigualdades de Bell. Y sus resultados eran también favorables a la teoría cuántica de la no-localidad. La mayor parte de los físicos han aceptado la comprobación experimental de la violación de las desigualdades de Bell. Bell tenía la esperanza de que de todos modos la teoría cuántica fuera superada por una más completa; pero también estaba convencido de que la visión del mundo de Einstein era ya insostenible. Pauli llegó a la conclusión de que, en última instancia, no era tanto el determinismo causal sino la existencia de una realidad objetiva independiente del observador lo que verdaderamente mantenía la filosofía de Einstein y su oposición a la interpretación de Copenhagen. Einstein no llegó a conocer la discusión alrededor del teorema de Bell; pero es muy posible que no llegara a aceptar la no localidad, aunque tuviera que sacrificar la idea de que no hay señales que se transmitan con una velocidad mayor que la de la luz.

Kumar concluye en esta sección: “Después de llevar a cabo tal medida, un experimentador solo conoce las probabilidades del resultado de la posible medida de la otra partícula entrelazada llevada a cabo, por un colega, en una ubicación distante. La realidad puede ser no local, permitiendo influencias más rápidas que la luz entre pares entrelazados de partículas en ubicaciones separadas, pero es benigna, sin que exista, entre ellas, ninguna ‘misteriosa comunicación a distancia’”. (459)

Un acontecimiento en el desarrollo científico reciente fue la idea de Everett III de los mundos paralelos; es decir, de un multiverso. “Según Everett, para el gato de Schrödinger atrapado en su caja esto significaría que, en el momento en que la caja se abriera, el universo se dividiría, dejando un universo en el que el gato estaba muerto, y otro en el que el gato todavía estaba vivo”. (463) Para Everett III esta teoría conducía a las mismas predicciones de la mecánica cuántica. Everett murió de 51 años de edad y no logró ver el desarrollo de su interpretación de los “múltiples mundos”. “Todas las posibilidades cuánticas coexisten como una realidad en un conjunto de universos paralelos”. (404)

Conclusión

Cinco aspectos importantes de la filosofía de la física clásica o moderna han sido cuestionados por la física cuántica del siglo XX y hasta el presente: la discontinuidad, el determinismo, la no-localidad, la dualidad onda/partícula, el realismo.

La evidencia sobre la discontinuidad es clara y contundente. La metafísica desde Parménides hasta Leibniz había sostenido el principio de continuidad, no solo en la física sino en toda la filosofía y la ciencia de la naturaleza. Leibniz resume dicho principio en la expresión *natura non facit saltus*. Ortega y Gasset, meditando sobre estos cambios de la ciencia contemporánea afirma, por el contrario, que “la naturaleza no hace sino saltar”. De hecho en la ciencia contemporánea no fue solo la teoría del cuanto de acción de Planck la que introdujo la discontinuidad. En la biología la idea de

las mutaciones al azar también introdujo el principio de discontinuidad. Con ello se configuraba una teoría de la evolución que no es gradualista, sino de cambios bruscos, pequeños o grandes como en la teoría de las catástrofes de Gould.

El determinismo moderno era estricto. En efecto, las leyes en las cuales pensaron los físicos clásicos, Descartes, Newton, (y tantos otros) eran leyes universales estrictas. En esta visión se basó Laplace para formular el determinismo nomológico moderno. El descubrimiento de la estadística se aplicó primero en las ciencias sociales (para el estudio de fenómenos demográficos); luego Mendel la utilizó en sus estudios pioneros sobre la herencia. Y finalmente entró también en la física con la termodinámica. Así que la física cuántica no es la primera teoría física que utiliza la estadística y la teoría de las probabilidades en la física. Así, pues, a diferencia de los creadores de la ciencia moderna, la ciencia contemporánea admite sin dificultad leyes que no valen universalmente sino en un alto porcentaje de casos; leyes probabilistas. Como vimos, Einstein opuso mucha resistencia a la física cuántica por su carácter probabilista, pero al final confesó que esa no era la mayor dificultad, sino más bien la cuestión del realismo. Al fin de cuentas es posible entender la causalidad como causalidad probabilista. Así lo hace, por ejemplo, Mario Bunge. El determinismo contemporáneo es nomológico probabilista. Hay quien se adhiere a un indeterminismo más o menos generalizado, pero esto no se sigue necesariamente de la física y la ciencia contemporáneas.

La dualidad onda/corpusculo es la otra tesis de la física cuántica que ha

generado gran polémica y que cuestiona patrones de pensamiento de la física moderna. La mecánica de Schrödinger se queda con la interpretación ondulatoria. La interpretación de Copenhague mantiene el principio de complementariedad: hay experimentos en que la naturaleza responde de modo corpuscular, y en otros de modo ondulatorio. Pero nunca en el mismo experimento. Por lo tanto todo depende de la pregunta que le hacemos a la naturaleza a través del experimento; y la naturaleza responde en forma diferente según el tipo de experimento. La regla de complementariedad no es una síntesis en el sentido de la dialéctica. Pues las dos caras de los cuantones (onda y partícula) son disyuntas; presenta una cara corpuscular en algunos experimentos y una cara ondulatoria en otros experimentos. No se ha logrado una manera de sintetizarlos en un concepto que refleje bien esa dualidad. La tesis de Schrödinger, según la cual la onda es el piloto que guía el movimiento de la partícula, es considerada imposible por algunos. (Es la metáfora del *surfer* y la onda marina sobre la que se mueve).

La no localidad, es decir, el hecho de que si dos partículas A y B interactuaron alguna vez, aunque luego se separen, seguirán entrelazadas formando un único sistema, sin que puedan ser consideradas partículas separadas, como hemos visto, fue comprobado experimentalmente. Según algunos intérpretes –pero no todos– la no localidad implica la acción a distancia. Es bueno recordar que la teoría de la gravedad de Newton admitía la acción a distancia, pues la atracción gravitatoria era instantánea a lo largo de los espacios planetarios. Como el mecanicismo era la filosofía de la ciencia moderna, esa tesis

de Newton no siempre era bien recibida porque no encajaba con el mecanicismo. Lo que el autor de este libro, Kumar, sugiere es que la comprobación de la no localidad implica que haya transmisión de señales con una velocidad mayor que la asignada a la propagación de la luz.

Finalmente, queda el problema del realismo, que según vimos fue la mayor preocupación de Einstein frente a Bohr. La convicción de Bohr era: “No existe un mundo cuántico. Solo descripción cuántica”. (409) Mientras no son medidas u observadas las partículas carecen de posición, de momento, también de espín. Everett defiende la existencia de múltiples mundos reales partiendo de la interpretación ondulatoria de Schrödinger.

El realismo, sin embargo, es una tesis filosófica sobre la cual se polemiza desde Platón, los sofistas y los escépticos. Los sofistas, o al menos Gorgias de Leontini, eran fenomenistas. También los escépticos eran fenomenistas. Decían por ejemplo, percibimos la luz solar, eso fenoménicamente no tiene problema; pero dar una explicación de la luz, eso es otra cosa, y ya no es evidente. Ernst Mach, que era físico y filósofo, no creía en la existencia real de los átomos. De modo que la discusión viene de muy lejos. El realismo y el fenomenalismo existían también en la física clásica. No es sorprendente que la polémica siga existiendo también en la física cuántica y la ontología que le corresponde. Más bien ante lo insólito de ciertos hechos cuánticos es que surge la duda relacionada con el realismo. Feynmann decía que la mecánica cuántica no se comprende. Es insólito para el pensamiento antiguo y moderno hablar de una realidad que es al mismo tiempo onda y partícula, pero que no puede manifestarse al mismo tiempo en un

mismo experimento. La realidad cuántica muestra caras diferentes según sean los experimentos a los que se la somete. La no localidad es también insólita a nuestros hábitos de pensamiento; dos partículas que estuvieron juntas siguen influenciándose aun cuando ya estén separadas. El principio de incertidumbre mostró que la naturaleza nos pone un límite a la observación y la medida pues no podemos medir dos variables al mismo tiempo; si se conoce la una se desconoce la otra.

A lo largo de la sinopsis hasta aquí realizada, hemos podido apreciar la lectura fenomenista de Niels Bohr, Heisenberg, Born, y otros. Pero como acabamos de ver, se trata básicamente, no de una diferencia en los hechos experimentales, sino en la lectura filosófica que se hace. La interpretación de la escuela de Copenhagen dirigida por Bohr ha sido la ortodoxia dominante a lo largo del siglo XX. Kumar señala, al final del libro, que en una encuesta hecha a físicos actuales ya no eran muchos los que apoyaban la versión ortodoxa de Copenhagen; aunque también señala que un treinta por ciento de los físicos no lograba tener una opinión determinada sobre esta temática. En lo que sigue voy a dar brevemente los lineamientos de la interpretación realista (lo contrario de la escuela de Copenhagen) de Mario Bunge, que no solo es realista sino materialista.

Mario Bunge afirma categóricamente que si uno ha mantenido una lectura realista de las teorías científicas modernas, no hay nada específico en la física cuántica que pueda hacernos cambiar o abandonar ese realismo epistemológico. Bunge no

acepta la interpretación del determinismo de la ciencia moderna que da Laplace. Aclarado esto, nos dice que el determinismo de la ciencia es estocástico, lo era ya en el siglo XIX y lo es también en la física cuántica. “El concepto de probabilidad es básico en la física cuántica”.² Con respecto a la dualidad onda/corpusculo escribe Bunge: “Si el cuantón está muy bien localizado, carece de una velocidad precisa; y si tiene una velocidad precisa, no está bien localizado. Por ejemplo, si se encierra un electrón en una caja, llega a ocuparla íntegramente: carece de forma propia”. (87) Así, pues, a diferencia de la física clásica, en la nueva física los conceptos de posición y momento lineal no son precisos; “por lo cual tampoco retiene los conceptos clásicos de momento angular y momento lineal precisos”. (86)

Con respecto a la discontinuidad cuántica, afirma Bunge. “Bohr postuló que en un átomo la acción (energía x tiempo) está cuantificada: que es un múltiplo entero de la constante de Plank h . Esto implica que cualquier transición entre dos estados estables es discontinua: es un salto cuántico, en que el átomo pierde la cantidad $h\nu$ de energía, según que absorba o emita un fotón de la misma energía”. (85) Anota Bunge que la idea del carácter discontinuo de ciertos procesos físicos se puede hallar ya en Pitágoras de Samos. “En efecto, Pitágoras descubrió que la frecuencia de una cuerda vibrante es igual a un múltiplo entero de una frecuencia (o armónica) fundamental”. (81) También se pronuncia Bunge con relación al teorema de las desigualdades de Bell. “Una tercera peculiaridad de los cuantones es que si alguna vez estuvieron juntos, nunca pierden del todo

esta asociación: no son totalmente separables, por más que se distancien espacialmente”. (82) Finalmente, Bunge se refiere a la cuestión del realismo. “Los cuantones son ciertamente entes extraños al sentido común, pero no son fantasmales y comparten algunas propiedades con los clasones. Una de ellas, y la más importante, es que existen independientemente de la voluntad del observador, de modo que la física cuántica no requiere un cambio de la teoría realista del conocimiento ni de la lógica. Sí requiere, en cambio, una transformación de la ontología, tan profunda como las que exigieron en su tiempo la mecánica newtoniana, la física de campos y la biología evolutiva”. (82) En particular, la medición de entes microscópicos no es una creación de los mismos, según la opinión que se puede ver en expresiones de los miembros de la escuela de Copenhagen. Según esta lectura “la medición de una variable no perturba su valor sino que lo crea. Dicho de manera negativa mientras no es medido, el cuantón carece de propiedades. Por lo tanto ni siquiera existe, a no ser como constituyente de una unidad sellada inanalizable, sujeto (experimentador)-objeto (cuantón)-aparato”. (91) Finalmente, Bunge prefiere la expresión “principio de indeterminación” a esta otra “principio de incertidumbre”.

La lectura de Bunge es realista materialista, como acabamos de apreciar. Pero hay también otras interpretaciones que pretenden ir más allá de la teoría física y su base experimental, y recurrir a una metafísica. Suponen que hay una realidad inteligible más allá; un realismo no físico; metafísico. Para Bunge el referente de la teoría cuántica es real: son trozos de materia o energía que él

denomina cuantones. Bunge advierte acerca de la necesidad de diferenciar entre el referente real y la validación empírica de una teoría. Aunque el referente de la teoría cuántica se ha prestado a múltiples interpretaciones, para Bunge lo hay, y es la realidad material en su nivel microfísico. Las interpretaciones metafísicas no quedan contentas ni con la lectura fenomenista ni con la lectura real material, sino que buscan una entidad inteligible oculta como si fuese una divina sustancia espinocista (D'Espagnat³), o una realidad inteligible platónica (como en Penrose⁴). El teorema de Bell mostró que es posible decidir entre predicciones de la mecánica cuántica y cualquier teoría local de variables ocultas. Por lo cual no es obligado recurrir a una realidad velada o oculta. Existen interpretaciones materialistas de la sustancia de que habla Spinoza (Vidal Peña o Toni Negri), pero la lectura de Bernard D'Espagnat no es materialista, sino metafísica y teológica. Brevemente, aunque los hechos experimentales de la mecánica cuántica gozan de la mejor reputación como hechos comprobados, las interpretaciones epistemológicas resultan ser muy diferentes, opuestas y hasta contradictorias unas de otras.

NOTAS

¹Manjit Kumar, *Quantum. Einstein/Bohr y el gran debate sobre la naturaleza de la realidad*, Barcelona, Kairós, 2012, p. 141. Los números que aparecen en el texto, mientras el mismo se refiere a la obra de Kumar, corresponden a las páginas del libro en su edición española. (En la parte de crítica, en que se utiliza una obra de Mario Bunge, los números se refieren a dicha obra de 2002).

²Mario Bunge, *Ser, saber, hacer*, Buenos Aires, Paidós, 2002, p. 91. Los números que siguen a las citas de aquí en adelante se refieren a las páginas de este libro.

³Bernard D'Espagnat, *A la recherche du réel. Le regard d'un physicien*, Paris, 1979.

⁴Roger Penrose, *La nueva mente del emperador*, Mondadori, 1991. Y también: *Las sombras de la mente*, Barcelona, Crítica, 1996.

Bibliografía

- Bernstein, Jeremy, *Perfiles cuánticos*, México, McGraw Hill, 1991.
- Bunge, Mario. *Filosofía de la física*, Barcelona, Ariel, 1978.
- _____. *Epistemología*, Barcelona, Ariel, 1980.
- _____. *Ser, saber, hacer*. Buenos Aires, Paidós, 2002.
- Campa, Ricardo. *El estupor de Epicuro. Ensayo sobre Erwin Schrödinger*, Madrid, Alianza Editorial, 1988.
- D'Espagnat, Bernard. *A la recherche du réel. Le regard d'un physicien*, Paris, 1979.
- Fernández Rañada, Antonio. *Ciencia, incertidumbre y conciencia. Heisenberg*. Madrid, Nivola Ediciones, 2004.
- Gould, Stephen Jay, *La vida maravillosa*, Barcelona, Crítica, 1999.
- Kumar, Manjit. , *Quantum. Einstein/Bohr y el gran debate sobre la naturaleza de la realidad*, Barcelona, Kairós, 2012, p. 141.
- Laplace, Pierre Simon de, *Ensayo filosófico sobre las probabilidades*, Madrid, Ediciones Altaya, 1995.
- Negri, Antonio. *La anomalía salvaje. Ensayo sobre poder y potencia en Spinoza*, Barcelona, Anthropos, 1993.
- Omnes, Roger. *Filosofía de la ciencia contemporánea*, Barcelona, Idea Books, 2000.
- Penrose, Roger. *La nueva mente del emperador*, Mondadori, 1991.
- _____. *Las sombras de la mente*, Barcelona, Crítica, 1996.
- Peña García, Vidal. *El materialismo de Spinoza*, Madrid, Revista de Occidente, 1974.
- Stern, Alfred. *Problemas filosóficos de la ciencia*, Río Piedras, Editorial de la Universidad de Puerto Rico, 1976.
- Strathern, Paul. *Bohr y la teoría cuántica*, Madrid, Siglo Veintiuno de España, 1999.
- Torretti, Roberto. "El observador en la física del siglo XX", en Francisco José Ramos (editor), *Hacer: pensar*, Río Piedras, Editorial de la Universidad de Puerto Rico, 1994.
- _____. *Philosophical Reflections on Physics*, The University of Chicago Press, 1990.