

CIEN AÑOS DE MECÁNICA CUÁNTICA EN FILOSOFÍA

SERGIO F. MARTÍNEZ*

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la filosofía moderna en los siglos xvii y xviii no puede entenderse sin entender el proceso por medio del cual se llega a formular y establecer como una gran teoría científica la teoría de Newton de la mecánica. El desarrollo de la filosofía en el siglo xx no puede entenderse si no se entiende la profunda influencia, directa e indirecta, que han tenido teorías como la de la evolución de Darwin, y la de la mecánica cuántica, en el desarrollo de teorías del conocimiento y de la metafísica, así como en otras áreas de la filosofía. En este trabajo presento algunas de las maneras en las que la mecánica cuántica ha tenido y sigue teniendo una profunda influencia en el planteamiento de problemas filosóficos.

En primer lugar, la interpretación de la teoría cuántica de por sí plantea uno de los problemas más importantes en la filosofía de la ciencia contemporánea. El problema de la interpretación de la mecánica cuántica surge de hacerse preguntas como la siguiente: ¿Cómo debe ser el mundo físico para comportarse de la manera que la mecánica cuántica describe? Las diferentes interpretaciones de la teoría buscan dar cuenta del mundo físico de manera tal que podamos entender la mecánica cuántica como parte de una descripción coherente del mundo físico, una descripción que sea compatible con lo que otras teorías fundamentales de la física nos dicen acerca de la realidad física.

La teoría trata de las partículas de las que está hecha la materia, protones, electrones y neutrones, así como de los fotones que componen la luz; sin embargo, y esto es crucial para que se genere el problema de la interpretación de la teoría, no es claro que podemos hablar de los electrones como “partículas”, por lo menos en todas las situaciones. Según la interpretación estándar, los sistemas cuánticos

* Instituto de Investigaciones Filosóficas, UNAM.

tienen propiedades definidas sólo bajo ciertas condiciones generadas por aparatos de medición apropiados. De manera alternativa, esta idea se formula también como diciendo que hay magnitudes cuánticas que son simultáneamente indeterminables. Si se determina con precisión la posición de una partícula no puede determinarse precisamente la magnitud de la velocidad, por ejemplo. El hecho de que esta dependencia de la determinación de propiedades de los contextos (aparatos) de medición no pueda ser explicada físicamente sugiere que la manera usual de entender la objetividad del mundo físico es cuestionable.

El famoso gato de Schrödinger ilustra la dificultad de fondo. La mecánica cuántica implica, de acuerdo a la interpretación estándar, que en principio es posible que un gato esté en una situación en la que no podemos decir que él está vivo o está muerto, todo lo que podemos decir es que está en un estado entre vivo y muerto, un estado que la mecánica cuántica nos dice que debemos representar como la suma de dos vectores, en donde los dos vectores representan los estados posibles de estar vivo y estar muerto. Por supuesto, el problema es que no podemos observar algo como “la suma de estar vivo y estar muerto”; en otras palabras, el problema es cómo reconciliamos nuestra convicción de que no hay un estado en algún sentido “intermedio” entre estar vivo y estar muerto con lo que nos dice la mecánica cuántica.

EL PROBLEMA DE LA INTERPRETACIÓN DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

Muchos físicos piensan que no tenemos que preocuparnos de estos problemas, de que éstos son meramente problemas metafísicos que no tienen nada que ver con la capacidad predictiva de la teoría. Pero si uno estudia la historia de la mecánica cuántica en el siglo xx queda muy claro que el tema de las interpretaciones de la mecánica cuántica no consiste de apéndices metafísicos agregados a la física, sino que el tema de la interpretación es parte integral de la manera como los físicos se orientan en sus investigaciones y en el desarrollo de formalismos novedosos que han ido conformando nuestra convicción de la importancia de la teoría cuántica. Como ya lo decía Einstein muy al principio de la controversia sobre la interpretación de la teoría, “la ciencia nos exige ir más allá de lo que sería de inte

rés. para los ingenieros o los tenderos, nos exige tratar de entender cómo podemos entender lo que es el mundo, incluso en el caso que no hubieran seres humanos o algún otro tipo de observador” (Einstein, 1954).

La manera usual de explicar la indeterminación simultánea de magnitudes recurre a la idea de que requiere una descripción irreduciblemente probabilista de los fenómenos, porque las atribuciones de determinados valores a las magnitudes están limitadas por “el principio de incertidumbre”. Según el principio de incertidumbre las magnitudes complementarias de un sistema no pueden determinarse con precisión simultáneamente. Este principio va acompañado de la idea de que las magnitudes que están en esa relación de complementariedad sólo tienen potencialmente un valor definido, un valor que una medición actualiza dentro de los límites impuestos por el principio.

Pero ¿cómo explicamos el principio de incertidumbre? Por supuesto que hay muchas respuestas, y esas respuestas están relacionadas con maneras diferentes de entender la interpretación estándar. En todo caso es muy común que las diferentes interpretaciones compartan con la interpretación estándar la idea que la mecánica cuántica nos obliga a abandonar, la idea de que existe un mundo objetivo independientemente de nuestras observaciones, o incluso la idea de que debemos rechazar hablar de “hechos”, o de la ocurrencia o no de sucesos. Muchos físicos comparten la idea de que si bien podemos reconocer la utilidad en la vida diaria de decir cosas como “el mundo existe allá afuera independientemente de nosotros”, tal idea no puede ser defendida si nos tomamos en serio la mecánica cuántica. Por otro lado, aquellos que quieren defender una interpretación realista de la mecánica cuántica muchas veces llegan a propuestas muy extrañas. Por ejemplo, en su defensa de una interpretación alternativa hay quienes consideran a la mecánica cuántica simplemente como la teoría de lo que llaman el multiverso, un mundo constituido por universos paralelos. Estos universos se van distinguiendo uno del otro conforme se van abriendo posibilidades de separación a nivel microscópico. Así, es posible decir que en un universo el gato de Schrödinger está vivo y en otro muerto. Ambas posibilidades se actualizan, sólo que en universos diferentes.

La interpretación de los universos paralelos considera que los observadores, como otros sistemas físicos, se separan en una serie de múltiples sujetos, cada uno con una vida continua en cada uno de los

mundos que se van separando entre sí a lo largo del tiempo. Los defensores de esta interpretación piensan que la existencia de mundos paralelos se sigue de aceptar la mecánica cuántica, y de aceptar el principio de que sólo lo que realmente pasa puede causar que otras cosas realmente pasen.¹ Ahora bien, podemos sentirnos alarmados de que alguien proponga una teoría aparentemente tan absurda para dar cuenta de la interpretación de la mecánica cuántica, pero lo que es importante considerar es que el problema es serio, y que esto justifica explorar una serie de propuestas que a primera vista puede parecer absurda.

Una interpretación de la teoría cuántica debería darnos una manera de entender los conceptos centrales de la teoría que permitieran un enunciado preciso de sus principios fundamentales. Debería incluir una demostración de que, entendida así, la teoría es consistente y empíricamente adecuada. En particular una interpretación debería explicarnos cómo se relacionan la mecánica clásica y la mecánica cuántica. Usualmente, una teoría que supera a otra en cuanto a adecuación empírica debe reducirse a la anterior en un cierto límite. En el caso de la teoría especial de la relatividad hay un parámetro beta tal, que cuando beta es mucho menor que uno las ecuaciones de la relatividad especial se aproximan a las de la mecánica clásica. La relatividad general en el límite de campos gravitacionales débiles se aproxima a la teoría de Newton de la gravitación. Muchas teorías en la física se relacionan de esta manera. En el caso de la mecánica cuántica es parte del problema de interpretación que este límite no puede entenderse claramente. Nótese que en la medida en que este problema no puede resolverse no podemos tener una descripción clásica de objetos macroscópicos en un límite apropiado y, por lo tanto, no podemos pretender tener una idealización que sea aplicable tanto a microprocesos como a macroprocesos.

En la medida en que el límite entre la mecánica cuántica y la clásica es problemático no podemos pretender que la interpretación nos ofrezca una serie de *representaciones integradas de nuestra experiencia (experimentos)* de manera consistente, como debería ser el caso si consideramos que la mecánica cuántica es una teoría fundamental de la física. Y éste es un problema filosófico por excelencia. En última instancia, el problema es que no es claro lo que la teoría dice res-

¹ Un trabajo de divulgación sobre esta interpretación es *The fabric of reality*, de David Deutsch (1997).

pecto a la naturaleza del mundo físico. Por supuesto que podemos pensar de la mecánica cuántica como una especie de caja negra que nos permite generar modelos capaces de guiarnos en la construcción de tecnología, y que no debemos exigir más. Pero una actitud de este tipo puede ser útil a corto plazo en el contexto de la implementación de un problema tecnológico determinado, mientras a largo plazo el entendimiento que exigimos en el caso de la interpretación de la mecánica cuántica está relacionado con la posibilidad de avanzar el conocimiento en direcciones de las que hoy puede que no tengamos idea. En última instancia, la búsqueda por una interpretación satisfactoria de la teoría es la búsqueda de cómo las diferentes partes de nuestro conocimiento del mundo encajan unas con otras en una concepción coherente del mundo. Ésta es por supuesto una preocupación metafísica a la vez que física. Tanto el metafísico como el físico están interesados en este tipo de búsqueda.

Muchas veces se piensa que la metafísica y la física son proyectos diametralmente opuestos. Esta idea, profundamente arraigada entre los científicos, proviene de la manera de entender y rechazar la metafísica por el positivismo. De hecho, la física, por lo menos la física más allá de la física de los tenderos —como dice Einstein— tiene que ver con cuestiones metafísicas que deben servir de guía para evaluar desarrollos alternativos de la física. La mecánica cuántica en particular es una teoría que tiene mucho que decir a la metafísica y a la teoría del conocimiento, y si bien de diversas maneras ha tenido un cierto impacto en el desarrollo de estas áreas de la filosofía, creo que debería de tenerlo todavía más. A continuación quiero hacer ver cómo la discusión acerca de las implicaciones metafísicas de la mecánica cuántica es parte de una larga historia que es a la vez historia de la ciencia e historia de la filosofía.

MECÁNICA CUÁNTICA Y METAFÍSICA

En el siglo XVII el desarrollo de la física newtoniana estuvo íntimamente ligado al de una nueva concepción de la materia. Los trabajos de Galileo, Descartes, Newton y muchos otros llevaron a la aceptación de una concepción de la materia muy diferente de como se había entendido en toda la tradición aristotélica. En *El mundo*, Descartes principia expresando una idea que va a ser crucial en el desa-

rrrollo de la física posterior: nuestras teorías pueden hablarnos de cosas a las que no tenemos acceso a través de nuestros sentidos, por ejemplo, nuestra sensación de luz puede ser muy diferente de lo que causa esa sensación en nosotros. Esta idea de la falta de similitud entre la causa y el efecto está relacionada con otro aspecto que va a ser muy importante en el desarrollo de la filosofía y la ciencia del siglo XVII: el reconocimiento de que muchas veces es sólo a través de modelos matemáticos como podemos tener conocimiento del mundo material. En esta perspectiva clásica la materia se caracteriza por su extensión y su capacidad de ser localizable en el espacio y el tiempo. Exactamente como se formula esta idea tiene origen una discusión que llega hasta nuestros días: ¿Cuáles son las propiedades “primarias” de la materia, esto es, aquellas propiedades de los cuerpos materiales que caracterizan la materia como algo objetivo? Galileo formula de manera muy elegante la idea central que será uno de los pilares metafísicos de la ciencia moderna:

Cuando concibo un cuerpo material como una sustancia corpórea inmediatamente siento la necesidad de pensarlo como limitado, como teniendo esta o aquella forma; como largo o pequeño en relación a otras cosas, y en un lugar específico en cualquier tiempo dado, como próximo o no próximo a otro cuerpo; como uno en número o como pocos o muchos.²

Newton es el primero que sugiere que la distinción metafísica entre propiedades primarias y secundarias, que Galileo formula en términos de la “necesidad de pensar”, puede basarse en la física. Para Newton, las propiedades primarias son aquellas que podemos encontrar en todos los cuerpos que tienen la característica de que la propiedad en un todo es el resultado de la agregación de las propiedades (de ese tipo) de las partes. Por ejemplo, la masa de un cuerpo es la suma o agregación de las masas de sus partes. Así, también la inercia es para Newton una propiedad primaria. Nótese que esta característica distintiva de las propiedades primarias las hace susceptibles del tipo de análisis matemático basado en los métodos de integración que Newton tanto va a contribuir a desarrollar, y por lo mismo permite que la distinción de Galileo y otros filósofos naturales del siglo XVII basada en una caracterización geométrica de los objetos se transforme en una caracterización físico-matemática.

² *El ensayador*, en obras completas de Galileo, compilación de A. Pacchi, 1969 (1623). Hay traducción al castellano, Buenos Aires, Aguilar, 1980.

Otros contemporáneos de Descartes y Galileo piensan que la distinción debe formularse de otra manera, pero independientemente de exactamente cómo se define el conjunto de propiedades primarias, y más en general, independientemente de cómo se relacionan la metafísica y la física, hay un consenso de que la distinción entre propiedades primarias y secundarias de la materia es una distinción crucial para entender la naturaleza del conocimiento científico. La distinción metafísica entre propiedades primarias y secundarias permite el desarrollo de una manera de hacer epistemología que esencialmente identifica el conocimiento de la naturaleza con el conocimiento que podemos tener a través de la ciencia. Propiedades como el color o el olor, que en la tradición Aristotélica eran propiedades de la materia en el mismo nivel de realidad que su localización espacial, son consideradas en la filosofía del siglo XVII propiedades “secundarias”, esto es, propiedades que no son intrínsecas a los cuerpos sino que surgen de nuestra relación como observadores con esa materia. De no haber observadores no diríamos que la materia tiene color.

El desarrollo de la mecánica cuántica en el siglo XX lleva consigo un cuestionamiento de la importancia epistemológica de esta distinción y en particular de la concepción tradicional de materia. Nótese que la idea de una propiedad primaria es la de una propiedad objetiva, intrínseca a las partes básicas de la materia que se “hereda”, por así decir, a los cuerpos macroscópicos de los que forma parte. Pero hay propiedades que consideramos que no son secundarias en el sentido anterior, pero que tampoco son agregativas. Por ejemplo, el ser conductor de electricidad, o la propiedad de ser más pesado que el agua no son propiedades agregativas y, por lo tanto, “primarias”, pero tampoco son propiedades secundarias.

Capturar el sentido en el que estas propiedades son objetivas requiere introducir la noción de propiedad o relación intrínseca. A grandes rasgos, una propiedad (de un cuerpo) o relación (entre cuerpos) es intrínseca si el cuerpo tiene esa propiedad o relación de por sí, independientemente de qué propiedades tienen o dejan de tener otros cuerpos (que no están incluidos en la relación), e independientemente de los cuerpos de los que forman parte. Una elucidación a fondo del concepto de propiedad intrínseca es muy difícil y no me interesa ahondar en el tema; sólo espero que quede claro por qué esta tarea de elucidación está relacionada con la tarea de entender el concepto de objetividad promovido por la física.

La idea más común es que, en un sentido que vamos a dejar sin explicar, esas propiedades intrínsecas serían “reducibles” a propiedades primarias. La conductividad eléctrica o la propiedad de ser menos pesado que el agua debería poder explicarse a partir de propiedades moleculares “primarias” de los materiales. El hecho de que el concepto de una propiedad o relación intrínseca sea problemático tiene que ver con dificultades bien conocidas para esclarecer los diferentes sentidos en los que se puede hablar de reduccionismo, holismo y otros ismos que son el pan nuestro de cada día en la filosofía de las ciencias. Tiene también que ver con las dificultades de interpretación de la teoría cuántica y en particular con la controversia respecto al sentido en el cual la mecánica cuántica es “holista” o “no separable” o “local” o “indeterminista”.

No debería sorprendernos el hecho de que si bien podemos estar seguros de que el desarrollo y aceptación de la mecánica cuántica en el siglo XX tiene profundas implicaciones que llevan a profundos cambios en el concepto de materia desarrollado en la física a partir del siglo XVII, no es para nada claro cuáles son esas implicaciones, o por lo menos no hay un consenso al respecto. Después de todo, el concepto de materia que fue inicialmente propuesto por Newton toma forma de manera paulatina por cerca de tres siglos, y en cierto sentido nunca ha habido un consenso absoluto respecto a cuál es ese concepto de materia.

Una discusión similar ha tenido lugar a lo largo del siglo XX sobre las implicaciones de la mecánica cuántica para el concepto de materia. Por supuesto que estas implicaciones van a depender de la manera como entendamos la interpretación de la teoría. La gran mayoría de físicos considera que una serie de experimentos que se han llevado a cabo en las últimas décadas pueden considerarse refutaciones experimentales de la posibilidad de explicar las predicciones de la mecánica cuántica por medio de una teoría de “variables ocultas”. Estas “variables ocultas” se han propuesto para explicar los resultados experimentales (predichos por la mecánica cuántica) de acuerdo a la concepción clásica de materia, y en particular permitirían reconciliar, por lo menos en un sentido importante, la mecánica cuántica con la manera tradicional de caracterizar las propiedades intrínsecas u objetivas de los cuerpos. Hay, sin embargo, una serie de modelos de variables ocultas y de interpretación de los experimentos que deja abierta la posibilidad de explicar la estructura predictiva de la teoría, y en particular el *algoritmo cuántico* (que le

asocia a cada propiedad dinámica la probabilidad de que una observación de esa propiedad revele que de hecho el sistema tiene tal propiedad en el momento de la observación). En particular, hay interpretaciones de la teoría cuántica, como la propuesta de Luis de la Peña, que involucran variables ocultas no locales que permiten mantener el principio de la separabilidad y el de la agregatividad de las propiedades intrínsecas.

Hay una tendencia entre varios físicos y filósofos a pensar que este tipo de interpretación es retrógrada y que sólo se explica por la añoranza del concepto clásico de materia. Las cosas, sin embargo, son más complicadas. El concepto de realidad física cultivado desde el siglo XVII al que hemos hecho alusión anteriormente parte de la idea reduccionista de que las propiedades y relaciones intrínsecas de los cuerpos y procesos puede explicarse a partir de las propiedades “primarias” de los cuerpos o procesos que se consideran básicos. Esto es entendido como una metodología que se compromete con el llamado principio de separabilidad. Se dice que un proceso físico es “separable” en el espacio-tiempo en una región R si y sólo si el proceso está determinado por propiedades físicas intrínsecas de puntos en la región R . El principio de la separabilidad espacio-temporal dice *que cualquier proceso físico que ocurre en cualquier región R del espacio-tiempo es separable en el espacio-tiempo en R .*

Un proceso físico que viola este principio de separabilidad decimos que es no separable. La realidad física es no separable si algún proceso físico viola el principio de separabilidad. Si la realidad física es separable todo proceso está determinado por lo que sucede localmente, esto es, en la vecindad (espacio-temporal) en donde tiene lugar el proceso. El supuesto de la separabilidad es un principio básico que a partir del siglo XIX ha sido considerado la mejor manera de reformular las implicaciones ontológicas de la física de Newton. El calentamiento del agua para el café se explica físicamente por lo que pasa en esa porción de líquido y en su frontera con otros cuerpos. El aumento de la energía cinética de las moléculas del cuerpo les permite sobreponerse a las fuerzas atractivas de corto alcance que usualmente le confieren al líquido sus propiedades características. La explicación se da en términos de las propiedades intrínsecas de las moléculas, sus fuerzas de atracción, su energía cinética, y otras, y la manera como esas propiedades cambian por acción local. Por ejemplo, la idea de que una mente humana puede a distancia calentar el agua para el café, o doblar una cuchara es físicamente inex-

plicable, entre otras cosas porque parece partir de negar el principio de la separabilidad. Una explicación aceptable tendría que aclarar cómo un proceso neuronal puede llevar a la transmisión de energía a través del espacio que permitiría calentar el agua. En la medida en que esa explicación ni siquiera se sugiere, la tesis de que una persona pueda calentar el agua “con el poder de su mente” es simplemente inaceptable.

Precisamente, una motivación para desarrollar teorías de campo en la física es no violar el principio de la separabilidad espacio-temporal. La teoría de la gravitación de Newton parecía ir en contra de ese principio hasta que los fenómenos pudieron ser explicados en términos de una teoría de campos. Un campo le asigna a cada punto espacio-temporal una propiedad física intrínseca independientemente de que ese punto esté ocupado por un objeto físico, y esto permite reconciliar la aparente “acción a distancia” que describe el principio de la gravitación newtoniana con el principio de la separabilidad.

Es bien conocido que la mecánica cuántica parece mostrar que hay procesos no separables en la física. Es, pues, natural pensar que la aparente no separabilidad de la mecánica cuántica puede explicarse a través de una teoría de campos que introduciría variables adecuadas que mantendrían el poder predictivo de la teoría. Ésta es una idea que Einstein sugirió ya hace medio siglo y que sigue siendo explorada actualmente.

Lo que me interesa recalcar aquí es que el problema de la interpretación de la mecánica cuántica, como el problema relacionado de si la mecánica cuántica es una teoría no separable (espacio-temporalmente) depende de una elucidación de cuáles son las propiedades (y relaciones) intrínsecas de los sistemas materiales, y ésta no es una cuestión fácil. La discusión en el siglo XVII, mencionada anteriormente, respecto a cuáles eran las propiedades intrínsecas de los cuerpos debe alertarnos de las dificultades paralelas a las que apunta el problema de la interpretación de la teoría cuántica, y en particular la discusión respecto a la separabilidad de la realidad física. Ésta es una discusión que a finales del siglo XIX parecía ya haber concluido de una vez y para siempre.

La mecánica clásica distingue entre dos tipos de propiedades de los sistemas físicos. Por un lado habla de propiedades de sistemas (tales como la masa o la carga) que permiten identificarlos a lo largo del tiempo; se considera que esas propiedades no cambian a través

de interacciones. A estas propiedades las podemos llamar individuales o fijas. Por otro lado, la mecánica cuántica utiliza propiedades (asociadas con variables) dinámicas, tales como la energía, el *momentum* lineal y angular, y la posición, que cambian con el tiempo, pero que obedecen ciertas leyes de conservación.

Las propiedades dinámicas posibles de un sistema se considera que están dadas por una estructura matemática conocida como “espacio de fase”. Cada propiedad dinámica está asociada con un subespacio del espacio de fase. Generalmente se asume que de manera similar a como pueden determinarse las propiedades dinámicas a través del espacio de fase pueden también determinarse las propiedades individuales o fijas, pero esto no es del todo correcto. En todo caso, en la mecánica cuántica esto no puede hacerse, por lo menos bajo la interpretación usual.

Para ver esto, consideremos el ejemplo de un sistema cuántico compuesto, un par de sistemas M y N con espín $1/2$ en estado “singleton”. Este sistema compuesto MN tiene un espín total cero. En tanto que MN permanece en ese estado mantiene la propiedad dinámica de que su espín total es cero. En la interpretación usual un sistema compuesto de este tipo claramente es un sistema no separable. Como sería el caso en mecánica clásica, las propiedades dinámicas de M y N y MN no nos dicen cuáles son las relaciones intrínsecas entre M y N. No obstante, en el caso de la mecánica clásica pueden explicarse a partir de las propiedades intrínsecas de M y N. Pero en la interpretación usual de la teoría cuántica esto no es el caso. El sistema compuesto incluye relaciones intrínsecas tales como, no hay una distancia fija precisa entre los subsistemas M y N, un tipo de propiedad que la misma interpretación asume que no puede derivarse de propiedades de la relación espacial entre los subsistemas, sino que más bien se trata de explicar a partir de un principio de incertidumbre, por ejemplo. En particular, el sistema compuesto es no separable espacialmente, puesto que no hay propiedades determinadas de la localización espacial de los sistemas constituyentes M y N que puedan servir para determinar cualquier proceso que involucre al espín total.

Críticas a la interpretación usual de la teoría, desde Einstein, parten de la idea de que no es razonable abandonar el principio de separabilidad espacial a favor de un principio como el de incertidumbre. Es, pues, claro que el problema de la interpretación de la mecánica

cuántica requiere esclarecer muchos problemas filosóficos que tienen que ver con las implicaciones metafísicas de nuestras teorías físicas.

DE LA MECÁNICA CUÁNTICA A LA FILOSOFÍA DE LA CIENCIA

Una discusión tan de fondo acerca de la naturaleza de la realidad física debe tener implicaciones en el planteamiento de problemas filosóficos más allá de la filosofía de la física. Una de las discusiones más acaloradas en la filosofía de la ciencia del siglo XX ha sido acerca del realismo. Hay muchas maneras de plantear el problema; para nosotros es suficiente con formularlo de una manera relativamente simple, como el problema de si nuestras teorías científicas más exitosas nos dicen algo respecto a la naturaleza de la realidad subyacente. Podría ser que nuestras teorías fueran muy buenos instrumentos para generar predicciones, pero que nos dijeran muy poco o nada respecto al tipo de realidad subyacente. La teoría de la mecánica cuántica ha sido utilizada muchas veces como el paradigma de una teoría que no puede decirnos nada respecto a la realidad subyacente, y esto es parte de la manera tradicional de entender el principio de incertidumbre de Heisenberg.

Los críticos de la interpretación usual (o estándar) consideran que el hecho de que la interpretación no nos permita entender la naturaleza de la realidad física a través de explicaciones congruentes con el principio de la agregatividad y el principio de la separabilidad de los procesos físicos nos obliga a buscar una interpretación diferente del formalismo responsable por la estructura predictiva de la teoría, estructura que ha mostrado ser correcta, por lo menos hasta donde podemos decir hoy día. La importancia que el principio de separabilidad espacio-temporal y el principio de agregatividad han tenido en el desarrollo de la física son razón suficiente para explorar cualquier posibilidad de mantenerlos.

A este respecto no está de más recordar una serie de trabajos de historiadores de la física del siglo XX que han sacado a la luz una serie de consideraciones sociológicas pertinentes. Por ejemplo, se ha hecho ver que la rapidez con que se aceptó la interpretación usual basada en el principio de incertidumbre tiene que ver con un clima sociológico propicio. Paul Forman, por ejemplo, ha argüido que

para la gran mayoría de físicos a principios del siglo XX, “causalidad” significaba que la naturaleza estaba totalmente sujeta a leyes deterministas, y que esa sujeción era considerada esencial para que la ciencia pudiera entenderse como una empresa coherente y racional. En Alemania, esta creencia había llevado a responsabilizar a la ciencia del lamentable estado de la sociedad posterior a la derrota de los alemanes en la primera guerra mundial. Esto generó una reacción contra el racionalismo del que esta concepción determinista de la física era parte que influyó a favor de una teoría de la física, la cual rechazaba la causalidad y el determinismo. Éste es un ejemplo de cómo cuestiones sociológicas pudieron haber influido de manera determinante en la aceptación de una interpretación de la mecánica cuántica que quizás en otras circunstancias hubiera sido rechazada (Forman, 1971:1-115).

Independientemente de si la tesis de Forman es correcta o no, lo cierto es que la interpretación usual de la mecánica cuántica ha motivado una serie de teorías acerca de la naturaleza de la realidad y en particular ha influido de manera importante en discusiones acerca del realismo a lo largo de toda la historia de la filosofía del siglo XX. El problema del realismo es uno de los temas tradicionales de la filosofía. Hay muchas maneras de plantear una tesis realista. En la filosofía de la ciencia es muy común plantearlo como el problema de si estamos justificados para creer que los entes teóricos de los que hablan nuestras teorías más exitosas realmente existen. Más en general, es un realista alguien que cree que lo que le confiere valor de verdad a un enunciado es algo que es independiente de lo que sucede en el nivel cognitivo o lingüístico. Intuitivamente, la idea es que en general, por lo menos en la ciencia, hay algo “allí afuera” que es responsable (causalmente) de que un enunciado como “un electrón existe”, sea verdadero o falso.

La mecánica cuántica ha tenido un impacto importante en el planteamiento del problema del realismo por varias razones. En particular, si uno acepta la interpretación estándar de la mecánica cuántica, tiene que confrontar un dilema, o bien tenemos que aceptar que ciertas reglas de la lógica tienen que abandonarse; las reglas que por ejemplo nos llevan a concluir que no es posible que el gato de Schrödinger esté a la vez vivo y muerto, o bien tenemos que abandonar algunas de nuestras nociones más básicas acerca de lo que es la realidad física, por ejemplo el principio de separabilidad del que hablamos arriba. Sobre la base de este tipo de dilemas varios filósofos

fos han propuesto una gran variedad de tesis antirrealistas o realistas. Mencionamos el tipo de realismo asociado con la idea de que nuestro mundo está constituido por una serie de universos paralelos, la teoría del multiverso. Otra teoría que tiene una inspiración semejante, pero que se formula de manera más cuidadosa es la del “realismo interno” de Hilary Putnam.

Según el realismo interno el mundo consiste de diferentes ontologías, de manera análoga a como la mecánica cuántica en su interpretación estándar nos dice que hay ondas y hay partículas, y que si el mundo está últimamente compuesto de ondas o de partículas no es una cuestión fáctica que ignoramos, sino que esa dualidad es parte de lo que son las cosas. En el realismo interno esto se formula diciendo que lo que son las cosas depende del marco conceptual desde el que concebimos la realidad del mundo (Putnam, 1995).

Ésta es una teoría muy de moda en los últimos años. Ha habido muchas discusiones al respecto, pero casi nunca se cuestiona una de las motivaciones de partida, el supuesto de que la mecánica cuántica se interpreta de la manera estándar. Éste es un ejemplo, por un lado, de cómo la interpretación de la mecánica cuántica tiene implicaciones para el desarrollo de la filosofía, pero también muestra que *los filósofos tienen que confrontar el hecho de que la interpretación estándar sigue siendo cuestionada y que involucrarse en esa discusión es indispensable para poder evaluar las teorías filosóficas acerca de temas tan importantes como el reduccionismo y el realismo*. Para ver mejor esto utilicemos como punto de comparación otras maneras de entender una tesis realista.

Ian Hacking ha propuesto una versión de un realismo, cuya motivación es el tipo de creencias respecto a lo que existe y a lo que no, según el entender de los científicos experimentales. Hacking introduce su tesis del “realismo experimental” a partir de una pregunta: ¿Cómo se cambia la carga de una bola de Niobio superenfriada? Hacking cuenta cómo un amigo le explicó que para hacerlo “uno la rocía con positrones para aumentar o disminuir la carga”. Y desde ese entonces —dice Hacking— él se convirtió al realismo. Para Hacking, algo que podemos manipular es real. Si podemos ver a través de un microscopio un animal que a simple vista no es posible ver y, sobre todo, si es posible moverlo con instrumentos, ponerlo sobre una rejilla graduada y medir el tamaño de sus ojos, entonces tenemos buenas razones para creer en la realidad del bicho. La idea es que si uno puede manipular algo entonces ese algo está allí, es parte de la realidad (Hacking, 1983).

Un realismo interno como el de Hilary Putnam es muy diferente, y no es pues extraño que Putnam critique la tesis de Hacking de que es posible encontrar una base filosóficamente firme para ser realistas en nuestra capacidad de manipulación del mundo. Según Putnam, creer que los positrones son verdaderos no puede implicar que existan cosas distintas llamadas positrones, ya que la teoría cuántica de campos nos dice que en general no hay un número definido de positrones. Además, considera Putnam, la mecánica cuántica elemental nos dice que no podemos pensar de los positrones como teniendo trayectorias, o como siendo, en general, reidentificables. Respecto a la primera crítica de Putnam debemos decir a favor de Hacking que si bien no podemos contar los positrones, independientemente de nuestra manera de contarlos, algo que es una consecuencia del principio de superposición, lo importante es que podamos rociar positrones, no importa que no podamos decir cuántos. Respecto a la segunda crítica, lo importante para nosotros es resaltar el hecho de que Putnam habla de “la mecánica cuántica elemental” cuando en realidad se está refiriendo a la interpretación usual (estándar) de la teoría.

Putnam está asumiendo, junto con los defensores de la interpretación estándar, que los fenómenos de superposición cuántica y de la no-localización constituyen un obstáculo definitivo para cualquier tesis realista que pretenda hablar de una realidad que sea independiente de un marco conceptual en el cual se dé la descripción de esa realidad. Pero esta manera de entender la mecánica cuántica es parte de la interpretación usual, no es algo que sea obligado para cualquier interpretación. Como ya dijimos, es posible interpretar la mecánica cuántica como una teoría con variables ocultas no locales que permiten mantener el principio de la separabilidad y el de la agregatividad de las propiedades intrínsecas. Es, pues, claro que la discusión está lejos de concluir; y seguramente va a ser un tema importante en el segundo siglo de la mecánica cuántica.

CONCLUSIÓN

Para finalizar, quiero mencionar muy brevemente otras discusiones filosóficas en las que la mecánica ha tenido, y sigue teniendo impacto. Un tema es el de la conciencia. La discusión sobre qué es la

conciencia es uno de los temas más resbalosos y difíciles que trata la filosofía. Actualmente, hay varias propuestas que utilizan la mecánica cuántica para resolver el problema de la conciencia. Una de las discusiones más conocidas al respecto la generó el libro de Roger Penrose, *La nueva mente del emperador* (Penrose, 1989). En ese libro (y posteriormente en otros) arguye que las leyes de la mecánica cuántica juegan un papel muy importante en una explicación de la conciencia. Este tipo de propuestas es ciertamente muy especulativo, y Penrose ha sido muy criticado por ello, pero lo que sí es indudable es que la mecánica cuántica está cada vez más sirviendo como punto de partida para novedosos planteamientos en áreas muy diversas de la ciencia y la filosofía. Desde principios del siglo xx hay sugerencias de que la mecánica cuántica tiene implicaciones para los fundamentos de la lógica. Toda un área de investigación conocida como “lógica cuántica” trata de desarrollar una lógica alternativa o suplementaria a la lógica clásica, que permitiría resolver varios problemas planteados por la teoría cuántica, así como muchos otros problemas en teorías de la argumentación. Éste es un tema que a lo largo del siglo xx ha sido acaloradamente discutido, abandonado y vuelto a retomar. Pero incluso si este proyecto termina por abandonarse, se han aprendido muchas cosas que están siendo aplicadas en otras áreas de la ciencia y la filosofía, por ejemplo en la teoría de autómatas, en donde están permitiendo el desarrollo de interesantes proyectos de investigación.

Es indudable que la riqueza de la mecánica cuántica como guía en el desarrollo de la ciencia y la tecnología no ha sido agotada en su primer siglo de existencia.

BIBLIOGRAFÍA

- Deutsch, David, 1997, *The fabric of reality*, Hammondsword, Penguin.
 Einstein, 1954, *Ideas and opinions*, Nueva York, Crown Pub.
 Forman, Paul, 1971, “Weimar culture, causality and quantum theory, 1918-1927: Adaptation by german physicists and mathematicians to a hostile intellectual environment”, *Historical Studies in the Physical Sciences*, vol. 2: 1-115.
 Hacking, Ian [1983] 1997, *Representar e intervenir*, México, Paidós/UNAM/IE.
 Penrose, Roger, 1989, *The emperor’s new mind*, Nueva York, Oxford University.
 Putnam, Hilary, 1995, *Pragmatism, an open question*, Nueva York, Oxford.