

CAPITULO IV

Problemática filosófica II: Los argumentos filosóficos

En todo caso no es la ciencia,
Sino una dudosa filosofía,
lo que conduce al idealismo,
al fenomenalismo y al positivismo.
Karl Popper

Son tres los aspectos fundamentales que han introducido el subjetivismo en la teoría cuántica. A continuación veremos cómo el **cálculo de probabilidad**, las **relaciones de incertidumbre** y la **intrusión del observador** —estrechamente ligados— interactúan en un discurso falaz sustentando la interpretación estándar de la mecánica cuántica y llevando a un rechazo del realismo. Una primera medida será demostrar que este subjetivismo en la física obedece una serie de malentendidos e incorrectas interpretaciones gnoseológicas debido a la falta de una crítica filosófica de los términos involucrados.

En el presente capítulo presentamos una discusión de estos aspectos específicas cuyo objetivo es reconsiderar los conceptos principales en los que se apoya la interpretación **positivista** de Copenhague. Haremos esto a la luz de una filosofía que se dirige a una **visión realista de la teoría cuántica** y que intenta demostrar que en el fondo la polémica —una vez mas— en torno a sus problemas epistemológicos **no** tiene fundamento. Demostraremos que las relaciones de incertidumbre y su común interpretación, igual que otros juicios análogos que sólo pueden ser corroborados por sus consecuencias estadísticas, **no** conducen necesariamente a conclusiones *acausales*, *indeterministas* o *subjetivistas* y que en última instancia, una vez comprendidas

correctamente las categorías en juego, el subjetivismo no sólo está fuera definitivamente, sino que además es perfectamente posible un **realismo gnoselógico**.

Sabemos que para algunos la causación y la determinación –el causalismo y el determinismo- son sinónimos. Las necesidades de nuestro discurso nos han llevado a tratar estos aspectos por separado.

1.-El Positivismo Lógico en la teoría cuántica:

El **positivismo lógico** o **empirismo lógico** es una visión comprensiva del carácter de las teorías científicas y su estatus epistemológico que se desarrolló en la primera mitad del siglo XX. La mayoría de las doctrinas de esta corriente de pensamiento han sido severamente criticadas y la posición es difícilmente aceptada hoy. Sin embargo, aún tiene gran influencia dentro de la ciencia. Podemos ver esto en la definición estandarizada del **método científico** que encontramos en los libros de texto. Algunos son del juicio de que la permanencia del positivismo se debe a que no ha surgido una perspectiva comparablemente aceptable que la suceda.¹ En la filosofía de hoy la postura está superada y es conocida dentro de la tradición analítica como parte de la “**Concepción heredada**” .

El positivismo o empirismo lógico fue influenciado por varios desarrollos filosóficos y científicos de los siglos XIX y XX y fue una respuesta a problemas originados por ellos. Se originó del llamado **Círculo de Viena** y la **Escuela de Berlín** cuyos miembros eran en su mayoría matemáticos y científicos que se convirtieron en filósofos. Concentrados en aspectos fundamentales de la ciencia de naturaleza filosófica

¹ Bechtel. *Philosophy of science*. P.xii

originada por desarrollos científicos, acordaron la manera en la que estos problemas debían ser resueltos.²

A principios del siglo XX las tres posturas filosóficas principales dentro de la comunidad científica alemana eran el *materialismo mecanicista*, el *neokantianismo* y el *neopositivismo* de Ernst Mach, siendo el segundo el más popular. Al llegar las teorías cuántica y de relatividad, se consideraron incompatibles con estas tres posturas filosóficas y su desarrollo supuso un abandono de ellas. La aceptación gradual de la nueva física trajo una *crisis filosófica*. Entre los intentos por superarla surgió un neokantianismo modificado cuyo máximo exponente fue Ernst Cassirer (1910), y una versión debilitada del neopositivismo desarrollada por Mach.³

El positivismo en general puede considerarse como un abandono de la especulación en aras de la certeza. Es una actitud filosófica y científica “presidida –como dice Ron Harré- por un impulso, disposición o estado minimalista”.⁴ Es una filosofía que considera nuestra experiencia sensible, especialmente nuestras percepciones, nuestras observaciones, más seguras y reales que la realidad física que, es sólo nuestra construcción mental.⁵ Esta visión de la ciencia implica que nuestras teorías se basan sólo en lo que podemos ver y no pueden ni necesitan ir más allá. El positivismo que se popularizó en la primera mitad del siglo XX tiene sus raíces en desarrollos de los siglos XVIII y XIX.

Aunque encontramos rasgos del positivismo en Berkeley y Hume, que podemos decir son sus antecesores, el empirismo británico nunca tuvo un carácter extremadamente

² Suppe. *The Structure of Scientific Theories*. P. 7

³ *Op. Cit.*. P. 11

⁴ Harré. *Mil años de Filosofía*. P. 232

⁵ Popper. *Quantum Theory and the Schism in Physics*. Pp. 2-3

antiteórico como ocurrió en el continente. En Francia el positivismo arranca de la reflexión en torno a las condiciones de posibilidad de una ciencia social (Augusto Comte). En Alemania y Austria surge como oposición al pensamiento Hegeliano y se desarrolla como una filosofía que aspira a generalizar a todos los ámbitos de la actividad humana el presunto poder y racionalidad de las ciencias naturales.⁶

En la historia de la filosofía alemana del siglo XIX encontramos una gran oposición entre aspiraciones del conocimiento humano basado en la investigación científica, en la ciencia positiva, y lo que se concebía como aspiraciones casi enigmáticas al conocimiento basado en la filosofía neokantiana. De todos los autores decimonónicos de inclinación positivista, Ernst Mach fue sin duda quien ejerció una mayor influencia en las generaciones subsiguientes de filósofos y científicos.

Para este físico las leyes de la naturaleza no son más que estrategias para la comunicación de conocimiento científico cuya función es reemplazar y *ahorrar nuevas experiencias*. “Según Mach –citado por Harré- , el único conocimiento positivo que uno puede tener es el conocimiento de sus propias sensaciones.” “Los cuerpos o las cosas son símbolos mentales abreviados para grupos de sensaciones, símbolos que no existen al margen de nuestro pensamiento.”⁷

Esta postura fue adoptada por grupos de filósofos y científicos de Berlín por Hans Reichenbach (Círculo de Berlín) y en Viena bajo la influencia de Moritz Schlick (Círculo de Viena). Ambos grupos aceptaban la insistencia de Mach en la **verificabilidad** como criterio de significación para los conceptos teóricos, aunque no comulgaron con su rechazo a las matemáticas. Según Mach el objeto de las teorías científicas son las

⁶ Harré. *Ibid.*

⁷ *Op. Cit.* P. 236

regularidades de los fenómenos: las teorías caracterizan estas regularidades en términos teóricos. Estos últimos deben ser explícitamente definidos en términos de fenómenos y no son otra cosa que *abreviaciones* de dichas descripciones de fenómenos. Siguiendo a Poincaré, las leyes matemáticas no son más que *convenciones* que expresan ciertas relaciones que se dan entre fenómenos.⁸

Otro desarrollo de interés para los matemáticos y filósofos del Círculo de Viena fue el trabajo que llevaron a cabo en la matemática Gotlob Frege y Bertrand Russell y que culminó en los trabajos de Whitehead y el mismo Russell en su *Principia Mathematica*. Esta última obra es un desarrollo coherente de lógica matemática que axiomatiza lo matemático en términos lógicos, es decir, que convierte la matemática en lógica ya que la lógica le da su esencia. Esto sugirió a los miembros del Círculo de Viena que las proposiciones matemáticas de las leyes científicas y las definiciones de términos teóricos podían ser dadas en nociones de lógica matemática. Hicieron una síntesis de estas ideas y las posiciones de Mach y Poincaré. El resultado fue el origen de lo que hoy llamamos el Positivismo Lógico o la “*Received View*”⁹ y su desarrollo es parte fundamental de la *filosofía analítica*.

El **Positivismo lógico** se convirtió en la perspectiva filosófica dominante de la ciencia en la primera mitad del siglo XX. Sobre todo porque ofreció una visión atractiva y sistemática del proyecto de la ciencia. Su propuesta de teoría del significado demostró que el discurso científico se origina en la experiencia sensible por lo que tiene gran importancia. Este discurso basado en la deducción demostraba cómo eventos particulares podían ser explicados por leyes y permitía una confirmación dando evidencia de estas

⁸ Suppe. *The Structure of Scientific Theories*. P. 11

⁹ *Op. Cit.*. P. 12

leyes. Finalmente demostró cómo las leyes de cada ciencia pueden ser unificadas en estructuras axiomáticas y basadas en una visión unificada de la naturaleza,¹⁰ por lo que reconocemos su importancia dentro de la tradición analítica, aunque nos parece paradójica su relación con la teoría cuántica.

Los positivistas siempre estuvieron en contra de la teoría atómica. Como dice Popper, el positivismo, de Berkeley a Mach se ha opuesto a que pueda haber una teoría física de la materia, que para ellos es algo metafísico, redundante y sin sentido. Y como él mismo apunta, es interesante e irónico que las ideas de Mach tuvieran tanta influencia cuando la teoría atómica ya no podía ser seriamente dudada y que además influenciara a los líderes de la física atómica (Bohr, Heisenberg, Pauli, etc.).¹¹ Nosotros agregaríamos que también es irónico que hoy en día se siguen teniendo estas ideas. Lo que los positivistas nos dicen hoy es que no podemos, en principio, esperar conocer algún día algo sobre la estructura de la materia, que la ciencia sólo es un instrumento vacío de interés filosófico y teórico y sólo tiene significado tecnológico, pragmático y operacional.

Desde el siglo XIX algunos pensadores positivistas negaron la idea de que la materia se compusiera de átomos por ser un postulado que no podía ser directamente probado: en ciencia debemos rechazar toda entidad metafísica por no ser fenómenos u observables -afirmaban. Para el positivismo no debemos hacernos preguntas que no puedan ser corroboradas o verificadas. Las preposiciones científicas deben poder ser verificables empíricamente. La tarea principal de la ciencia es explicar el fenómeno en la naturaleza y predecir su ocurrencia.

¹⁰ Bechtell. *Philosophy of science*. P 29

¹¹ Popper. *Quantum Physics and the Schism in Physics*. P. 172

La influencia de estas ideas en la teoría cuántica fue determinante. Claramente una versión del positivismo es parte de la interpretación de Copenhague y Gotinga, para quienes la teoría cuántica debe ser una teoría sólo de magnitudes observables. Esto está estrechamente ligado a una visión “instrumentalista” de la ciencia ya que supone que las teorías científicas sólo son formalismos matemáticos que tienen aplicaciones útiles, particularmente para la predicción de los resultados de experimentos y con lo que suponen apartarse de la filosofía, aunque en realidad siempre acaban haciendo más bien pseudo- filosofía. Estos instrumentalistas modernos, como dice Popper, no sólo no se dan cuenta de que filosofan, sino que ni siquiera pueden ver que su inteligente posición en realidad no es crítica ni racional.¹²

Según la interpretación de Copenhague la mecánica cuántica **no** es una descripción de la realidad. Tal descripción sería imposible ya que en el mundo subatómico no existe tal realidad: para ellos la realidad comprensible termina con la física clásica. Si la misma naturaleza del aparato de experimentación excluye toda posibilidad de medición de una cantidad física, esa cantidad debe ser una mera ilusión circunstancial. Una partícula no tiene posición hasta que un experimento sea diseñado para hacer una medición de esa propiedad. Lo más cercano a un entendimiento de los átomos es el principio de incertidumbre y el de complementariedad. Éste último, de acuerdo con esta argumentación nos dice algo sobre los límites de la física clásica y con ello del entendimiento. Podíamos entender las partículas clásicas y las ondas clásicas y podíamos saber que ambas son incompatibles, sin embargo necesarias. Ese era el límite de nuestro entendimiento, no había nada más que buscar.¹³

¹² Popper. *Quantum Physics and the Schism in Physics*. P. 103

¹³ *Op. Cit.* P. 10

La “*Received View*” de las teorías científicas fue criticada por varias posturas alternativas como las llamadas *Weltanschauungen* y el desarrollo de las teorías de Kuhn, tan apegadas a la historia de la ciencia, en su *The Structure of Scientific Revolutions*; la *contrainducción* o el ataque al método de Feyerabend en su *Against Method*; o el *Realismo científico*. Hoy podemos decir que la *Received View* está superada y que su popularidad ha decaído en las últimas décadas; sin embargo continúa siendo motivo de debate y discusión filosófica ya que da el paradigma generalmente aceptado por los científicos como el criterio para juzgar la ciencia.

2.-La probabilidad en física:

Todos tenemos que aceptar que la teoría cuántica es un tanto estocástica ya que sus leyes básicas son probabilistas, es decir, se refieren a experiencias en las que interviene el azar con un número finito de resultados posibles. Sabemos que Einstein no podía aceptar la idea de que hay probabilidades físicas primarias o irreducibles, es decir, se oponía a que el azar fuera objetivo. Para él, la probabilidad es un artificio transitorio que sirve para ocultar nuestra ignorancia y siempre tuvo la esperanza de que la mecánica cuántica fuese algún día deducida de una teoría más profunda y no probabilista. Esto se debe a que él tenía una visión subjetivista del cálculo de probabilidad. Nosotros adoptamos una posición distinta. Consideramos que la probabilidad no necesariamente implica subjetividad, incompletud o ignorancia y que es más bien una mala concepción de ésta dentro de la teoría cuántica la que apunta a un subjetivismo. La probabilidad es un punto importante en la discusión porque el problema del indeterminismo estriba en el *valor cognoscitivo* que se le da al conocimiento probabilista.

Es importante tomar en cuenta que el concepto matemático de probabilidad se origina como un esfuerzo por dar lo más objetivamente posible la expectativa subjetiva de un evento. Para hacer esto, la expectativa debe ser reemplazada por la frecuencia objetiva promedio de un evento cuando es repetido bajo ciertas condiciones. Se asume que cuando el número de repeticiones es grande, la probabilidad de un evento x difiere poco del cociente (o sea el resultado de la división de un número por otro que expresa cuántas veces un número está contenido en otro) m/n , donde n es el número de repeticiones y m el número de ocurrencias de x .¹⁴

El cálculo de probabilidades se constituyó hacia comienzos del siglo XVIII y su primer aplicación en la física fue la teoría estadística general del calor establecida por Boltzmann. Esta aplicación del concepto de probabilidad en física era lógicamente consistente con una forma determinista de las leyes de la naturaleza, sin embargo estas consideraciones en un sentido general no son suficientes para decidir la cuestión de la presencia o la ausencia de un marco determinista para dichas leyes. Fue en la mecánica de onda y la mecánica cuántica que se habló por primera vez de *probabilidades primarias* en las leyes de la naturaleza. Leyes que no admiten reducción a leyes deterministas con hipótesis auxiliares, como ocurre con las probabilidades termodinámicas de la física clásica. Esta consecuencia es vista como irrevocable por la gran mayoría de los físicos modernos, sobre todo los grupos de Copenhague y Gotinga (Pauli, Born, Heisenberg y Bohr).¹⁵

La intrusión del **subjetivismo** en la mecánica cuántica se encuentra estrechamente ligado a la probabilidad ya que comúnmente se le asocia con *falta de conocimiento*. Esta

¹⁴ Pauli. *Writings on Physics and Philosophy*. P. 43

¹⁵ Ibid. P. 46

idea lleva inevitablemente a una interpretación subjetivista de la teoría de probabilidades porque se supone que la probabilidad de un evento mide el grado del conocimiento *incompleto* de alguien. Hasta 1930 aún se pensaba que las consideraciones probabilísticas eran usadas en la física sólo porque no podemos conocer la posición y el momento precisos de todas las moléculas de un gas. Esto nos forzó a atribuir probabilidades a las varias posibilidades, un método que es la base de la mecánica estadística. Si tuviéramos precisión de todas las posiciones y los momentos de las partículas en cuestión, no tendríamos que conformarnos con la probabilidad. Así pues, se forjó una liga entre la ausencia de conocimiento y la física estadística o probabilística.¹⁶

Esto lo podemos corroborar en la afirmación de Sir James Jeans quien escribió:

“la imagen corpuscular nos dice que nuestro conocimiento de un electrón es indeterminado; la imagen ondulatoria, que el electrón mismo es indeterminado, ya realicemos experimentos con él o no. Pero el contenido del principio de incertidumbre tiene que ser el mismo en ambos casos; y sólo hay una manera de lograr tal cosa: hemos de suponer que la imagen ondulatoria no nos da una representación de la Naturaleza objetiva, sino de nuestro conocimiento de la Naturaleza...”¹⁷.

O sea que para Jeans, las ondas de Schrödinger son *ondas de probabilidad subjetiva, ondas de nuestro conocimiento*: con lo que toda la teoría subjetiva de la probabilidad invade el campo de la física.

¹⁶ Popper. *Quantum Physics and the Schism in Physics*. P. 4

¹⁷ Citado en Popper. *La lógica de la investigación científica*. P. 218

Las consecuencias epistemológicas de esta interpretación estadística de la mecánica de onda que da la escuela de Copenhague (de acuerdo a la cual cada arreglo experimental está acompañado por una interacción indeterminable entre el instrumento de medición y el sistema observado) da como resultado que cualquier conocimiento obtenido por una observación habrá de ser pagado con una pérdida de precisión de otro conocimiento. Qué conocimiento se gane y cual se pierda es elección del experimentador dentro de arreglos experimentales mutuamente excluyentes. Y es en esta posibilidad de libre elección entre arreglos experimentales mutuamente complementarios que el carácter indeterminista de las leyes naturales postuladas por la mecánica cuántica descansan.¹⁸

Aunque como hemos visto en un principio la filosofía de la probabilidad, dominada por el subjetivismo, había sido considerada como una medida de la certidumbre o incertidumbre de nuestras creencias. En 1888 se propuso una alternativa **frecuentista** según la cual las probabilidades son frecuencias relativas de sucesos observados a la larga. Esto daba un paso hacia la objetividad, si, pero en realidad sólo se ocupa de las observaciones, de tal forma que al igual que la visión subjetivista, ésta interpretación considera la probabilidad como rasgo de la *experiencia* humana más que como una medida de algo objetivo. A comienzos del siglo pasado, sin embargo, emergió una tercera interpretación provocada por la mecánica estadística llamada **propensiva** o **tendencial** según la cual las probabilidades son medidas de la intensidad de una propensión o tendencia que tienen ciertos estados o sucesos a presentarse. Esta última postura la encontramos en *La science et l'hypothèse* (1903) de Poincaré, en *What is*

¹⁸ Ibid.

chance? (1951) de Mario Bunge y popularizada en parte importante de la obra de Popper.¹⁹ Esta última sí admite **objetividad** en la teoría de las probabilidades.

Las leyes básicas probabilistas de la teoría cuántica alteraron la relación entre la probabilidad y la filosofía. A partir de ella la interpretación subjetivista sólo pudo armonizar con un antirrealismo de corte Copenhague que sostiene que las leyes probabilistas de la teoría cuántica y otras teorías científicas dejarán de valer cuando la gente deje de pensar en átomos, moléculas, fotones y otros objetos de comportamiento al menos parcialmente aleatorio. La interpretación frecuencial por su parte, es limitada y olvida que las frecuencias no son los únicos indicadores de probabilidad. Además, es incompatible con la existencia de teorías microfísicas referentes a sucesos o cosas individuales y diferentes a teorías de agregados de estas conexiones (los principios de la mecánica cuántica se refieren a individuos, mientras las estadísticas cuánticas se refieren a agregados.)²⁰ Por otro lado, las probabilidades no son frecuencias ni son interpretables como tales, aunque podemos estimarlas con su ayuda.²¹ La interpretación propensiva, por su cuenta, es *compatible con la teoría cuántica y el realismo*. A continuación la estudiaremos en su versión más popularizada –la de Popper– aunque al final nos alejaremos un tanto de ella.

1.1.-La teoría de las propensiones:

Desde los días del Círculo de Viena, Sir Karl Popper ha presentado un modelo de teorías científicas que *se oponen* a varias doctrinas asociadas a la Received View. Aunque entró en la escena filosófica a través del Círculo de Viena, el desarrollo de sus ideas siguió una

¹⁹ Bunge. *Racionalidad y realismo*. P. 130

²⁰ Bunge. *Racionalidad y realismo*. P. 144

²¹ *Op. Cit.* P. 131

línea propia. Su teoría de las propensiones fue desarrollada en un intento por resolver la polémica en torno a los problemas de la mecánica cuántica y como nos dice Ramón Queraltó de la Universidad de Sevilla,

es resultado de una interpretación determinada del formalismo de la teoría cuántica, la cual conduciría a Popper a entender las relaciones de indeterminación de Heisenberg como relaciones estadísticas de dispersión, y a proclamar que la teoría implica necesariamente dichas relaciones dada su naturaleza estadística.²²

El tipo de problemas que la teoría cuántica debe resolver son esencialmente estadísticos.²³

Si cuestiones estadísticas demandan respuestas estadísticas, la mecánica cuántica debe ser esencialmente una teoría estadística.²⁴ Para Popper esto no implica que la teoría deba considerarse subjetiva o que ponga en entredicho la objetividad del mundo. La interpretación popperiana rechaza totalmente la interpretación ortodoxa y su personalidad se sitúa al lado del realismo. La asunción popperiana del realismo y la objetividad del mundo son críticas y suponen que el conocimiento, al referirse a un mundo exterior independiente de la cognición humana, puede proponerse ser objetivo en el sentido de que *describe* y *explica* esa realidad. Esa es la finalidad que para este filósofo tiene el conocimiento científico. De aquí que la teoría cuántica, en cuanto cumple ciertas bases epistemológicas de la teoría popperiana del método, no podrá ser juzgada incompleta.²⁵

²² Queraltó. *Karl Popper, de la epistemología a la metafísica*. P. 45

²³ Popper. *Quantum Theory and the Schism in Physics*. P. 47

²⁴ Op. Cit. P. 49

²⁵ *Ibid.*

La presencia del indeterminismo en las teorías científicas no supone para Popper ni el subjetivismo ni la incompletud de la teoría. Este filósofo tenía “la convicción de que los problemas de la mecánica cuántica podían ser todos reducidos a problemas de interpretación del cálculo de probabilidades.”²⁶ La interpretación de la mecánica cuántica desarrollada por Popper entiende que la estadística describe el mundo objetivamente según sus propios límites y exigencias. El sujeto cognoscente no crea la realidad conocida al “elegir” o “forzar” a la naturaleza a manifestarse como onda o partícula; los límites de una teoría científica vienen impuestos *por la naturaleza de los problemas que plantea*, si sus problemas son de índole estadística no podemos exigirle mayor grado de certidumbre. La teoría de las propensiones tiene como base la interpretación de la teoría cuántica en tanto teoría estadística y le asegura objetividad. Esta posición, bastante particular, defiende y asume el realismo y la objetividad cognoscitiva y les introduce el *paradigma indeterminista* –comúnmente considerado incompatible con el conocimiento científico.²⁷

Popper advierte que la teoría cuántica, si bien de naturaleza estadística, señala **regularidades objetivas**. Esto se debe a la naturaleza de los problemas que plantea (científicos, teóricos, reales, aunque estadísticos). La aparición del conocimiento probabilístico y con ello la indeterminación de los parámetros físicos no se debe a la incapacidad de nuestro conocimiento ni a la influencia del proceso experimental sobre lo observado. No se debe a una consideración subjetivista de la teoría. La probabilidad no es la medida de nuestra ignorancia, sino una *característica fundamental de una teoría objetiva* que remite a una característica estructural de la realidad mentada por la teoría.

²⁶ Citado en: Queraltó. *Op Cit.* P. 47

²⁷ *Op. Cit.* P.50

Más aún, la propensión física es *una propiedad efectiva del mundo físico*: “*a propensity is thus a somewhat abstract kind of physical property; nevertheless it is a real physical property*”.²⁸

Para concluir diremos que para Karl Popper, tanto la física clásica como la cuántica son indeterministas. La diferencia está en que la mecánica cuántica es el principio de superposición de amplitudes de onda, una dependencia probabilista que aparentemente no tiene paralelo en la probabilidad clásica. Según Popper esto en un punto a favor de que las propensiones son físicas y reales (aunque “virtuales”).²⁹ Sin tomar en cuenta la argumentación de su “tercer mundo”, podemos decir que Popper es un indeterminista: “*as I must emphasize again, I am an indeterminist.*”³⁰

Hemos visto que el cálculo de probabilidad no tiene que ser considerado subjetivo. Podemos y debemos adoptar una interpretación objetivista de las probabilidades cuánticas, a saber: como **disposiciones, inclinaciones, tendencias o propensiones reales**. Como dice Popper, *no es sólo imposible sino absurdo explicar frecuencias estadísticas objetivas de ignorancia subjetiva*.³¹ La probabilidad en los fenómenos cuánticos se refiere en este sentido a un **marco definido de valores**, es decir, a que se pueden establecer marcos objetivos de probabilidades.

Por otra parte, el hecho de que una teoría sea probabilista no impide que pueda tener un aspecto causal: la causalidad puede subsistir en forma modificada. Un ejemplo de esto sería cuando se calcula o mide la probabilidad con la que un átomo desviará

²⁸ Popper. *Quantum Theory and the Schism in Physics*. P. 72

²⁹ *Op. Cit.* P. 83

³⁰ Popper. *Op. Cit.* P. 97

³¹ P. 106

dentro de cierto ángulo a un electrón que choque con él. Este acontecimiento se trata de manera **semi- causal**, pues supone que el campo del átomo causa el suceso (la desviación del electrón dentro del ángulo dado) con cierta probabilidad. Se determina así la **propensión** de que un suceso (el acercamiento de los dos entes) cause otro suceso (la desviación). En la teoría cuántica se conserva el concepto de **fuerza** (que cuantifica el de **causa**), aunque lo define de manera diferente a la física clásica. Además, la teoría cuántica no contiene sólo probabilidades de acontecimientos espontáneos (no causados), tales como transiciones de un átomo en el vacío, sino también probabilidades de sucesos inducidos por agentes exteriores, como los campos. Sólo que en estos casos la relación causa- efecto es probabilista en lugar de ser determinista en el sentido estrecho (causal).³²

La interpretación propensiva o tendencial de la probabilidad armoniza con la teoría estándar de la probabilidad, con la práctica científica (y la objetividad que le acompaña); con una interpretación realista de la teoría cuántica y con una epistemología igualmente realista. Esto porque supone que las posibilidades pueden ser reales o físicas, en lugar de ser meros disfraces de nuestra ignorancia de lo actual.

3.- El problema determinismo- indeterminismo.

La confusa y vacilante actitud que adoptó la escuela de Copenhague respecto al problema del indeterminismo pone de manifiesto la importancia de hacer una aclaración primera:

aunque se le asocia el indeterminismo, en realidad esto está lejos de ser cierto. Sobre todo si tomamos en cuenta que –como nos recuerda el Profesor Bunge- “la escuela de Copenhague no afirma que la naturaleza sea aleatoria, y esto porque sostiene que la

³² Bunge. *Racionalidad y Realismo*. P. 111

teoría cuántica no describe la naturaleza sino tan sólo los experimentos.”³³ Como sabemos, para la interpretación ortodoxa, la teoría no hace afirmaciones acerca de cosas en sí, independientemente de los observadores, sino sólo acerca de *situaciones experimentales*. Además, estas situaciones experimentales están bajo el control, directo o indirecto, de un experimentador que toma decisiones libremente. Evidentemente la interpretación estándar en realidad es determinista ya que sostiene que la teoría cuántica se refiere a fenómenos “conjurados” por un experimentador.

Independientemente de esto y de la vaga posición de la interpretación ortodoxa, aceptamos que es común asociar a la teoría cuántica con el indeterminismo. Y son precisamente las relaciones de incertidumbre expuestas por Heisenberg lo que rompe el cuadro armonioso y cerrado del mundo físico en el sentido clásico. Pero, ¿es realmente la teoría cuántica indeterminista? En primera instancia el término “determinismo” es ambiguo. A veces el indeterminismo se identifica con la probabilidad. Pero como las probabilidades cuánticas pueden interpretarse (incorrectamente) en forma subjetivista (como grados de ignorancia o incertidumbre), la respuesta anterior es insatisfactoria: no nos dice si la naturaleza misma es aleatoria. Para responder esta pregunta debemos adoptar una interpretación objetivista de las probabilidades cuánticas –como lo hemos hecho- y refinar la noción de determinación de modo que se pueda ligar a leyes probabilistas.

Las implicaciones filosóficas del principio de incertidumbre se encuentran en que marca el final del ideal laplaceano de un modelo y una ciencia *absolutamente determinista*. La primera relación de incertidumbre establece que no se puede establecer simultánea y exactamente la posición y la cantidad de movimiento. Según la segunda

³³ P.152

relación, lo mismo ocurre con la energía y el tiempo. El cuadro se completaba con las relaciones entre momento angular y posición angular, momento de inercia y velocidad angular.³⁴ Estas son las cuatro relaciones de incertidumbre de Heisenberg. No sólo no es posible predecir algunos acontecimientos futuros con exactitud, sino *que ni siquiera se puede decir el estado presente del universo en forma precisa*.³⁵ Indiscutiblemente el proyecto de Laplace de absoluta determinabilidad se derrumbó.

Sin embargo, como ha demostrado Queraltó en su artículo *Indeterminismo y racionalidad. En torno al problema de la causalidad en física*, la identificación del “determinismo con la racionalidad científica y con el principio general de causalidad adolece de una grave confusión de categorías filosóficas”. El problema se encuentra en confundir un nivel **epistemológico** con un nivel **ontológico**. Su argumento principal es que

si el mundo físico en su estructura ontológica no está ordenado causalmente entonces no será posible el conocimiento científico, pues éste presupone desde los inicios del pensamiento racional que todo objeto para ser cognoscible debe poseer una ordenación interna, una mínima estructura que conecte sus diferentes partes entre sí y con el todo para poder ser accesible a nuestra razón.³⁶

En el mundo físico hablamos de causalidad refiriéndonos a la “relación de determinación y producción total o parcial entre una unidad física –o grupo de ellas- y otra entidad física.” “La causalidad se entiende a su vez como la relación que conecta estructuralmente la realidad física en general, y contribuye, junto con otros elementos

³⁴ Queraltó. *Indeterminismo y racionalidad. En torno al problema de la causalidad en física*. P.70

³⁵ Hawking. *Historia del Tiempo*. P. 83

³⁶ Queraltó. *Op. Cit.* Pp. 72- 73

[...], a establecer sistematización ontológica propia al dominio físico- material correspondiente.” El artículo deja establecida la pertenencia de la estructura causal al plano ontológico de la realidad física y la del determinismo a una categoría epistemológica. El determinismo queda como “el paradigma epistémico acorde con las características del conocimiento científico que traduciría a un determinado nivel de la realidad física las condiciones requeridas por el principio ontológico de causalidad.”³⁷ Nosotros consideramos que esto es un tanto arbitrario aunque útil y perfectamente *legal* dentro de los intereses de esta tesis, recordemos que nos atañe exclusivamente el nivel epistemológico de la discusión.

Siguiendo estas ideas, el indeterminismo a nivel cuántico no significa una absoluta indeterminación ya que de ser así, no habría la correlación con el principio ontológico de causalidad necesario para el conocimiento. La indeterminación absoluta implicaría una falta total de orden interno en la Naturaleza y los fenómenos físicos. Así, el indeterminismo del mundo microfísico no implica un caos en la realidad física ni niega el orden de la causalidad física. Dentro de la teoría cuántica, cuando se observa un sistema físico lo que se obtiene al final de cuentas es un *cuadro de probabilidades*, es decir, una amplitud de probabilidad. La información sobre los llamados “observables” del sistema se da por una expresión que contiene a la función de onda y al operador asociado al observable. Esto lo podemos ver con el cuadrado de la función de onda que representa la densidad de probabilidad de localización del sistema en el punto de coordenadas x .^{*} Evidentemente la probabilidad no significa caos ni absoluta indeterminación. Explica el Profesor Queraltó: “existe un orden de probabilidades respecto a los parámetros que

³⁷ *Ibid.*

* $|\psi(x)|^2$

definen el sistema como entidad física.” El acontecimiento mecánico-cuántico no está absolutamente indeterminado, sino que oscila dentro de un cuadro de valores probabilísticos. *La indeterminación cuántica es un orden de probabilidades, no un desorden absoluto.*³⁸

Los marcos de probabilidad del fenómeno físico pueden ser hallados objetivamente por todo observador, no es un “capricho” de la realidad física, no es una fluctuación imposible de estudiar estadísticamente. El conjunto de valores que tomen los parámetros físicos no es totalmente indefinido, está reglado por leyes matemáticas que remiten a un cuadro objetivo de probabilidades. Si el hecho cuántico responde a un *orden determinable, no determinista*, se pueden establecer secuencias temporales de orden causal. Como apunta Queraltó: “se trataba fundamentalmente de que el determinismo se consideraba idéntico a racionalidad del conocimiento científico, es decir, sin categorías deterministas, se pensaba, no era posible la ciencia misma, al menos en los niveles físicos.”³⁹

El **determinismo** y el **indeterminismo** son en primera instancia *aspectos epistemológicos o “categorías de comprensión del mundo físico.”* Para el Profesor Queraltó *ambos dan una explicación válida y suficiente de los fenómenos cada uno en el nivel físico en que los fenómenos se encuentran en la investigación.* Cuando la razón científica investiga el mundo macrofísico se produce una categoría determinista de interpretación y cuando se enfrenta a niveles microfísicos en los que no son válidos los parámetros en que se basa el determinismo, se produce un cambio de categorías de

³⁸ Queraltó. *Op. Cit.* P. 77

³⁹ *Op. Cit.* P. 71

interpretación en las que surge el indeterminismo como nueva forma epistemológica adecuada al nivel subatómico.⁴⁰

Desde este punto de vista el concepto de materia está ligado en cada momento, y en distintas intensidades, a las categorías epistemológicas de aprehensión de la realidad. El indeterminismo subatómico trae consigo la necesidad de investigar una *nueva imagen de la realidad física* acorde con los niveles de aquella realidad a la que ese indeterminismo se refiere. De este modo entendidos, el determinismo y el indeterminismo, (el primero como categoría epistemológica y el indeterminismo como característica del marco de probabilidad) satisfacen el principio general de causalidad y por tanto la necesaria racionalidad del conocimiento científico. Tanto el determinismo como el indeterminismo quedan pues, establecidos como expresiones del principio de causalidad.⁴¹

La dualidad determinismo- indeterminismo:

no supone – explica el Dr. Queraltó- una quiebra de la unidad del conocimiento de la realidad física, o una escisión de la ciencia como tal. [...]. Todo lo contrario, porque existe una vía de conexión desde el indeterminismo al determinismo, o sea, desde el nivel microfísico al macrofísico.⁴²

Esta *vía* es el *cálculo probabilístico* cuando las unidades físicas que se consideran es suficientemente grande. La probabilidad llega a ser cercana a la unidad en la que se cumpliría un relación causal determinista de la física clásica. Así pues, el indeterminismo no implica de ninguna manera una ruptura de la unidad causal de la naturaleza a nivel

⁴⁰ P. 81

⁴¹ Queraltó. *Op. Cit.* P. 82

⁴² *Op. Cit.* P. 83

ontológico. La naturaleza sigue siendo causalmente ordenada tanto a nivel determinista como indeterminista. El indeterminismo no supone un caos en el mundo físico, sino un orden propio, aunque *no lineal* como en el determinismo.

Por otro lado, hemos de decir, siguiendo a Bunge, que es conveniente exigir que toda forma de determinismo satisfaga sólo dos principios: a) *legalidad* (“todo suceso es legal, ninguno es caótico”) y b) *transformismo o ausencia de magia* (“nada viene de la nada y nada se aniquila totalmente: toda cosa y todo estado de una cosa tiene precursores y deja huellas”).⁴³ Si admitimos estas exigencias del determinismo y lo antes dicho, hemos de decir que la teoría cuántica sigue siendo objetiva y que de ninguna manera está en contradicción con el determinismo.

4.-El Problema de la causalidad:

Sabemos que la mecánica cuántica ha sido considerada como una demostración de la inaplicabilidad a los procesos subatómicos de la llamada “ley de causalidad” y como un indicio de su decadencia como principio universalmente válido. Nosotros abordaremos la problemática haciendo una división fundamental entre la causalidad en un *sentido físico*, que incluye la metodología y el formalismo matemático (en una palabra, el cálculo de probabilidad), y la causalidad en un sentido epistemológico, es decir, en tanto posibilidad del conocimiento. En el caso del ámbito físico hablaremos de una **semicausalidad** y aceptaremos que en efecto, la física cuántica, a través de la mecánica cuántica tiene rasgos estocásticos.

De Hume a los positivistas lógicos, muchos filósofos han sostenido que la relación causal es ficticia ya que lo que podemos percibir son fenómenos, no enlaces.

⁴³ Bunge. *Racionalidad y realismo*. P. 153

Para ellos buscar causas es un síntoma de *morbo metafísico*. A nosotros nos parece esto muy extraño. Sobre todo consideramos que la *práctica científica* **no puede ni debe** dejar de concebir causas (sobre todo fuerzas) de diversos tipos así como de proponer explicaciones en función de las mismas.

Como nos pudimos dar cuenta en el apartado anterior, igual que otros problemas filosóficos, la causalidad es en realidad todo un sistema de problemas tanto ontológicos como metodológicos. Hemos de notar que como ya ha apuntado Bunge “hace medio siglo la causalidad parecía haber desaparecido de la física.” Esto se debe a dos razones: por un lado a que la teoría cuántica es básicamente estocástica en el sentido de que sus leyes fundamentales son probabilistas; y por el otro porque según la interpretación ortodoxa, todo suceso cuántico es producto de alguna operación humana, de modo que no pueden haber cadenas causales objetivas.⁴⁴ A continuación rebatiremos estos argumentos.

Como sostiene Popper, “la creencia en la causalidad es metafísica” -por lo que el positivismo de la interpretación estándar necesariamente la rechaza-, y es además una **regla metodológica plenamente justificada**. Es una “creencia” **mucho más fértil** en la ciencia que una filosofía indeterminista que suponga a-causalidad como la de Heisenberg y el círculo de Copenhague. Para Popper claramente a esto se debe el “efecto paralizador en la investigación” que producían los “comentarios” de éstos autores.⁴⁵

La discusión referente a la causalidad en la mecánica cuántica, igual que el indeterminismo y la probabilidad, ofrece problemas respecto al *uso* que se le da al *concepto*. A continuación analizaremos la problemática en base a dos argumentos para dar un consenso y demostrar que en realidad el problema puede ser esgrimido sin la

⁴⁴ Bunge. *Racionalidad y Realismo*. P. 110

⁴⁵ Popper. *Lógica de la investigación científica*. P. 231

menor dificultad una vez que se han comprendido sus verdaderas dimensiones. Ya hemos visto que *el hecho de que una teoría sea probabilista no impide que tenga un aspecto causal*, esto porque la causalidad puede subsistir en forma modificada. Para empezar diremos que en términos físicos, si bien la teoría cuántica no es acausal –como afirma la interpretación estandar- cuando menos tendremos que admitir que es semicausal o semiestocástica. Nuestro segundo argumento, de corte más epistemológico se refiere al problema del método y apela en favor de un sentido común básico dentro de la práctica científica. Estudiemos el primer argumento.

Tomemos por ejemplo el conjunto de valores que en un momento dado pueda llegar a tener una variable dinámica, es decir, la totalidad de lo que los físicos llaman sus *autovalores*. A cada uno de ellos le corresponde una *probabilidad determinada* (normalmente el ente cuántico está en un estado al que contribuyen muchos autovalores). Esta distribución de probabilidades es una ley estocástica que lejos de ser constante, puede variar *a causa* de *estímulos ambientales* (obstáculos o campos de fuerzas). El efecto de estas acciones puede ser que el centro de la distribución de probabilidad se desplace hacia valores propios o autovalores pequeños o grandes; o que la curva de probabilidades se agudice o se achate. En síntesis, ya que las *distribuciones de probabilidad* son sensibles a las circunstancias externas, son una *mezcla de azar y causalidad*.

Hemos visto en el primer capítulo la relación que hay en la mecánica clásica entre *fuerza y causalidad*, hemos de recordar esto porque la mecánica cuántica no ignora la noción de *fuerza* como *cuantificadora* de una *causa*. Sin embargo sí modifica la noción clásica de fuerza ya que ahora las mismas fuerzas (causas) no tienen necesariamente los

mismos efectos. Una fuerza puede tener *varios efectos diferentes* cada uno con una *probabilidad determinada* por la “ley de evolución de los estados” o ecuación de Schrödinger. Así pues, la teoría cuántica conserva los conceptos de causa y de efecto pero modifica su relación volviéndola ahora *probabilista*. Solo cuando no hay fuerzas (causas) presentes (como ocurre con el electrón o el fotón libres), el ente en cuestión evoluciona por sí mismo de manera aleatoria aunque *legalmente* y manteniendo intactas todas sus constantes del movimiento, en particular su energía.⁴⁶

En cuanto al aspecto epistemológico diremos que dentro del *discurso científico*, las leyes físicas son *descripciones* del comportamiento de sistemas físicos bajo *ciertas condiciones* y son útiles porque nos permiten *predecir* comportamientos futuros en base a datos del presente. Esta es una *condición* que no ha cambiado *ni podrá cambiar* sin *derrumbar* nuestra *tradición científica*. Si no podemos seguir el derrotero de un electrón como lo podemos hacer con el de una bola de billar es simplemente porque *un electrón no es una bola de billar*. El objeto del método de la mecánica cuántica como del resto de la física es hacer *predicciones*. Predicciones que se sustentan en experimentación.⁴⁷ Y esto ocurre en efecto, recordemos por ejemplo que la RQM de Dirac del ordinario electrón (negativo) llevó a varias predicciones confirmadas por experimento. Inclusive hizo posible el entendimiento del electrón positivo o *positrón* cuando fue descubierto en 1933.

En el apartado anterior hemos establecido la diferencia fundamental entre el determinismo y la causalidad; pudimos ver que las exigencias epistemológicas del principio de causalidad son satisfechas por el indeterminismo. Tanto éste como su

⁴⁶ Bunge. *Racionalidad y realismo*. P. 154

⁴⁷ Sellars et al. *Philosophy for the Future*. P. 199

contrario, el determinismo, son expresiones del principio de causalidad (ontológicamente hablando). Ahora mostraremos la compatibilidad que hay entre un posible indeterminismo con el principio de causalidad desde una plataforma epistemológica.

El contenido filosófico estricto -desde el punto de vista epistemológico y lógico- del principio de causalidad es el postulado epistémico de *razón suficiente*. Para Leibniz, este principio era la piedra fundamental de la ciencia. Para él, nada de lo que ocurre deja de tener una explicación suficiente, y la explicación de una cosa entrega la explicación de otras: el mundo obedece el “Principio de razón suficiente”. Y en la versión del físico contemporáneo Stephen Hawking, se ha transformado en el “principio antrópico débil”, que establece que la observación sólo es posible en un mundo que sostiene características como las nuestras. Esto depende de un complejo y sistemático orden causal. En este sentido, es una ley de la naturaleza que la naturaleza será observable sólo cuando también sea explicable.⁴⁸

Como hemos dicho, la causalidad puede ser tomada como un *principio ontológico de ordenación de la realidad física*; en este caso, el postulado de razón suficiente sería la formulación epistemológica de las exigencias de esta causalidad ontológica, es decir, sería el principio de ordenación del conocimiento válido de la realidad. De este modo entendido, el postulado de razón suficiente indicaría que todo hecho del mundo físico en cuanto es conocido de modo racionalmente correcto posee una explicación válida dentro del dominio cognoscitivo en el que se ha de dar tal explicación. Esta explicación da cuenta racional del hecho de tal forma que *permite una ordenación del conocimiento*.⁴⁹ El principio de razón suficiente pues, es una facultad –no en el sentido kantiano- de la

⁴⁸ Scruton, *Filosofía moderna*. P. 194

⁴⁹ Queraltó. *Indeterminismo y racionalidad*. P. 80

cognición que permite ordenar el conocimiento, y una característica necesaria del mundo físico.

Cuando la *razón científica* se dirige al conocimiento de la realidad física necesariamente supone un *orden intrínseco en el objeto*. El físico supone que el mundo es orden, no caos, lo cual es una condición previa del proceso de conocimiento. Este orden en el mundo implica una organización causal que es expresada como conocimiento válido cuando se cumple el postulado de razón suficiente, cuando se explica válida y lógicamente (racionalmente) un fenómeno físico. En síntesis, el postulado de razón suficiente es un correlato a nivel epistemológico del orden causal ontológico. Así que aunque la mecánica cuántica sea una ciencia probabilista y por lo tanto semiestocástica o semicausal, la causalidad en el sentido epistemológico permanece a salvo ya que es condición propia de *todo conocimiento, toda experimentación y toda teoría*.

La idea de que la causalidad sea analítica y deba enunciarse bajo la forma del principio de razón suficiente es propia del *racionalismo ortodoxo*. Leibniz lo sintetizó en su “Nada sucede sin una razón suficiente”. En todo caso, el principio causal tiene una condición ontológica y el principio de razón suficiente es una regla de procedimiento gnoseológica y no debemos confundirlas. Dar razones no es asignar causas. En general no hay correspondencia entre razón suficiente y causación. Sin embargo nuestra argumentación es válida dentro de los límites de esta tesis y nos sirve para demostrar lo que nos proponemos.

Indudablemente el conocer científico es el resultado de la creatividad humana, pero ésta siempre reglada por leyes lógicas y epistemológicas, leyes que tienen una efectiva correspondencia entre sí y que se conectan en una síntesis que unifica diversos

planos que se dan en el acto cognoscitivo. Hemos abandonado el *causalismo estricto* en la *física cuántica*, pero evitamos caer en contradicciones lógicas entre el teorizar y la práctica científica. Como explica Bunge: “La realidad sería incomprensible si los sucesos no tuviesen efectos, y por lo menos algunos de ellos no tuviesen causas. Si así ocurriese tendríamos que limitarnos, en caso de existir, a describir sucesiones de hechos aislados.”⁵⁰ Y en última instancia, negar la causalidad es, como dijo Popper, “lo mismo que intentar persuadir al teórico de que abandone su búsqueda.”⁵¹

5.-El problema del “observador”:

Para la “universalmente” aceptada interpretación de Copenhague de la teoría cuántica, la **realidad objetiva** se ha “*evaporado*” y la mecánica cuántica no representa cuantiones, sino *nuestro conocimiento, nuestras observaciones, nuestra conciencia: nuestras partículas*.⁵² Según este discurso la diferencia fundamental entre el mundo de la física clásica y la nueva física es que dentro de la primera es posible hacer mediciones sin afectar el objeto medido, mientras en la segunda, la medición de cualquier variable, *necesariamente* disturba o afecta el sistema. De tal forma que no podemos asumir la posibilidad del estado encontrado igual si se hace una medición que si no se hace.⁵³

Por ejemplo Bohr afirmó repetidamente, como lo podemos ver en *Atomic Theory and the Description of Nature* (1934), *Kausalität und Komplementarität* (1936), *On the notions of causality and complementarity* (1948), y *Atomic physics and Human*

⁵⁰ Bunge. *Racionalidad y Realismo*. P. 105

⁵¹ Popper. *La Lógica de la investigación científica*. P. 230

⁵² Popper. *Quantum Theory and the Schism in Physics* P.35

⁵³ Sellars et al. *Ibid.*

Knowledge (1958),⁵⁴ que la mecánica cuántica había producido una revolución gnoseológica en la que la situación de la imagen clásica de una naturaleza en la que no figuraba el sujeto cognoscente es *inacceptable* ya que en la nueva imagen del mundo el “observador” juega un papel *central*. Con su sarcasmo habitual, Mario Bunge lo pone así: “mientras los físicos clásicos pintaban naturalezas muertas, los cuánticos pintarían autorretratos.”⁵⁵

Heisenberg compartió la opinión, como podemos ver en *Wandlungen in der Grundlagen der Naturwissenschaften* (1947) y en *Physics and Philosophy* (1958).⁵⁶ Para él, mientras los físicos clásicos se habían esforzado por descubrir leyes naturales, los cuánticos hablan sobre esas leyes desde el punto de vista del “observador activo”, aunque en la última etapa de su vida varió un tanto de opinión. También von Neumann en su ya citado *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik* (1932) afirmó que las demarcaciones entre microobjeto, instrumento de medición y observador son arbitrarias ya que pueden ser trazadas a voluntad por el observador.

Siguiendo estas ideas, la opinión vulgar supone que dentro de la teoría cuántica **no** hay una *distinción sujeto- objeto* y que podemos pisotear toda la tradición moderna que le dio pie. Esto, de acuerdo con Bohr se debe a la imposibilidad de marcar una separación clara entre el comportamiento de los objetos atómicos y la interacción con los instrumentos de medición que sirven para definir las condiciones bajo las cuales aparece el “fenómeno”.⁵⁷ El observador es una parte necesaria de la estructura total, no sólo del experimento, sino del mundo. En resumen, esta doctrina del involucramiento del sujeto con

⁵⁴ Bunge. *Op. Cit.* Pp. 160- 161

⁵⁵ *Op. Cit.* P. 155

⁵⁶ P. 162

⁵⁷ “*the impossibility of any sharp separation between the behaviour of atomic objects and the interaction with the measuring instruments which serve to define the conditions under which the phenomena appear.*” Citado en: Popper. *Quantum Theory and the Schism in physics*. P. 119

el objeto físico de la escuela ortodoxa, rechazó la distinción clásica entre sujeto y objeto llegando a predicar un retorno al *antropocentrismo*⁵⁸ que el legado de Galileo, Kepler, Huyghens, Newton, Maxwell, Boltzmann y muchos otros, habían derribado.

Como sabemos Einstein por su parte era un realista y exigía que las teorías científicas representen la realidad antes que las apariencias o los estados mentales de los observadores. A pesar de ello creyó que en la teoría cuántica hay algo inevitable de *semisubjetividad* (por haber él mismo adoptado también –en general- la interpretación subjetivista de la probabilidad) por lo que no la aceptó. Y es que hay dos argumentos de peso –hablando a nivel físico- en contra de una postura realista que los partidarios de la escuela de Copenhague podrían argumentar: 1) Que según von Neumann, la ecuación de Schrödinger describe cosas en sí, tales como son mientras no las observamos (admisión realista que no se empleó en el debate Bohr- Einstein). Según esto, una vez que interviene el experimentador cesa de valer la ecuación y es preciso utilizar la teoría de la medición.* Puesto que el causante de esto es el experimentador, el ente cuántico está a su merced. 2) Que los experimentos de Aspect (1982) han refutado concluyentemente las desigualdades de Bell.⁵⁹

Respecto a la objeción **1**), lo primero que podemos argüir en su contra es que, aún suponiendo que la aparición del experimentador implique la suspensión de la ecuación de Schrödinger, el ente cuántico *tiene existencia propia* ya que el experimentador no puede obligarlo a adoptar un estado antes que otro. El objeto obra como si tuviese voluntad propia mientras el físico se limita a calcular la probabilidad de que su estado se proyecte

⁵⁸ *Ibid.* P. 155

* Esto está centrado en el llamado “postulado de proyección”, según el cual el acto de medición causa que el estado del ente cuántico se proyecte bruscamente, con cierta probabilidad, sobre uno de los ejes (que son infinitos) de un espacio funcional: el constituido por autofunciones (*eigenfunctions*) del operador que representa la variable dinámica que se mide.

⁵⁹ Bunge. *Racionalidad y realismo*. P. 158

sobre un eje dado: no se puede predecir con certeza cuál será este eje. Otro argumento que refuta **1)** es que en realidad no tenemos que aceptar la tesis de von Neumann de que el proceso de medición no satisface la ecuación de Schrödinger, esto es algo que nunca se ha probado. No cabe duda de que la proyección se produce en el curso de la medición pues ésta determina con cierta precisión algún valor particular de la variable estudiada. Sin embargo, es posible describir el proceso haciendo uso de la ecuación de Schrödinger dando cuenta del mismo en tanto proceso *legal* (no caótico), muy rápido, causado por la interacción *puramente física* entre el ente cuántico y el aparato de medición.⁶⁰ De esta forma queda demostrado que el argumento de von Neumann no refuta el realismo en la mecánica cuántica.

En lo que se refiere a la objeción **2)**, ya estudiada en el capítulo anterior, Aspect y otros físicos han creído que la impugnación experimental de las desigualdades de Bell han dejado de una vez por todas fuera al realismo de la teoría cuántica. Hemos visto que esto es insostenible y que el mismo sentido común prueba lo contrario. El propio diseño de los experimentos *supone la realidad* (una existencia independiente) del dispositivo experimental íntegro, y por ello, de sus componentes. *No es la imaginación del experimentador creando las cosas*, el experimentador no crea nada, sino que manipula y modifica cosas en sí, haciendo uso de teorías que no se refieren en ningún momento a sus estados mentales. Lo que los experimentos que examinaron las teorías de variables ocultas ponían a prueba era la conjunción de la suposición de variables ocultas con el postulado de separabilidad o localidad, que implica las desigualdades de Bell. Así, la

⁶⁰ Bunge. *Racionalidad y realismo*. P. 157

refutación de estas desigualdades niega el postulado de variables ocultas o el de separabilidad, pero *no el realismo*.⁶¹

En última instancia aceptaremos el argumento de Popper en la Introducción a su *Quantum Theory and the Schism in Physics*, en la que defiende su tesis de que el experimentador juega el mismo papel en la teoría cuántica que en la física clásica: su objetivo es *probar la teoría*.⁶² En la práctica, los físicos miden y experimentan hoy, fundamentalmente de la misma manera que lo hacían antes de 1925. Si hay alguna variación, se debe a que ha *incrementado el grado en que la medición es indirecta*. Mientras el físico de antes miraba a través de un microscopio, nuestros físicos se enfrentan a *filmes fotográficos o contadores automáticos*, que aunque han de ser interpretados, no son físicamente alterados por nuestras interpretaciones teóricas.⁶³ Nada ha cambiado desde Galileo o Newton o Faraday respecto al papel del observador o de nuestra conciencia o nuestra información en física.⁶⁴ La teoría cuántica es tan objetiva como cualquier otra.

Las cuestiones que hemos tratado en este capítulo ya se alejan del debate Einstein- Bohr. Esto se debe a que ambos dieron por hecho que la teoría cuántica por ser probabilista es indeterminista y acausal. Por ejemplo, para Bohr es necesario renunciar a la idea clásica de causalidad, por lo que hay que hacer una revisión radical de nuestra actitud respecto al problema de la realidad física.⁶⁵

⁶¹ *Op. Cit.* P. 158

⁶² Popper. *Quantum Theory and the Schism in Physics*. P. 35

⁶³ *Op. Cit.* P. 41

⁶⁴ Popper. *Op. Cit.* P. 46

⁶⁵ Bohr. *Can Quantum Mechanical Description of Physical Reality be Considered Complete?* P. 696

Hemos visto que su filosofía positivista se basa en la asunción de que las únicas declaraciones sobre el mundo que podamos considerar de valor, deben necesariamente limitarse a la expresión de cosas comprobables empíricamente. Según ella, los datos atómicos que surgen en la experimentación son indirectos ya que lo que los sentidos perciben no es el evento propiamente dicho, sino que nos aproximamos a él basándonos en pruebas que podemos establecer. Estos resultados de medición se interpretan con *conceptos clásicos* como *posición, momento y frecuencia*; pero lo que observamos es algo separado o desprendido por un proceso atómico que se completa en la creación de nuestro registro. La pregunta es pues: ¿es un comportamiento de la naturaleza (es decir, si tiene características ontológicas), se debe a la inadecuación de los instrumentos de medición o es un problema con características epistemológicas?

También hemos visto que la interpretación de Copenhague, influenciada por el positivismo, es *instrumentalista* ya que para ella, las teorías son meros instrumentos que nos permiten deducir fenómenos de fenómenos anteriores. Así, el empirismo lógico de la interpretación ortodoxa declara que la indeterminación cuántica se refiere exclusivamente a los resultados de la observación y no a la materia misma, considerando que la materia es una ficción metafísica carente de sentido. Por eso, el instrumentalismo de la escuela de Copenhague es incompatible con el realismo que no ve en la física sólo un instrumento de predicción o aplicaciones prácticas, sino un instrumento para *entender el mundo y explicarlo*. El realismo supone que las teorías no son sólo instrumentos sino también intentos por describir una realidad física.

La filosofía positivista construida sobre la interpretación estándar de la teoría cuántica (y entrelazada con ella) elimina el determinismo aunque también el

indeterminismo en el sentido *ontológico*, esto es, en relación con el comportamiento de las cosas mismas tales como éstas existen e independientemente de un “observador”. Esto porque se presume que el vínculo entre dos estados sucesivos de un sistema atómico es el observador actuando libremente respecto al sistema. El comportamiento del observador es considerado como algo independiente del objeto de observación, pero no a la inversa, por lo que es sumamente contradictorio. Así que si no existen conexiones objetivas directas entre los estados consecutivos de un sistema físico, no sorprenderá que se pierda toda forma de determinismo científico ontológicamente hablando, con la única excepción de la determinación estadística.

Hemos demostrado que no es verdad que la teoría cuántica es necesariamente subjetivista. Para empezar, es posible y *conveniente* interpretar el formalismo que le es propio en términos estrictamente realistas, es decir, en función de objetos reales. Por otro lado, los experimentos que confirman la teoría, de ninguna manera son *introspecciones de filósofos místicos*, sino que son manipulaciones que *suponen* la realidad de las cosas manipuladas. También hemos demostrado que en todo caso, el “observador” juega un papel no como sujeto cognitivo, sino sólo a través de sus medios materiales de medición. El sujeto de nuestra *tradición epistemológica* nada tiene que ver con los *procesos físicos* en sí. De tal forma que podemos afirmar que la teoría cuántica sigue la *tradición* instaurada desde Galileo: el *método fundamental* siempre ha sido el mismo.

También hemos demostrado que a nivel físico la interpretación ortodoxa no elimina en realidad el determinismo en sentido general y retiene cierta dosis de causalidad. Que el indeterminismo cuántico no significa *caos físico*, sino en todo caso *orden causal probabilístico*, satisfaciendo así el postulado de razón suficiente y la

exigencia de racionalidad. Que el indeterminismo satisface en todo caso las características del principio ontológico de causalidad, el cual adquiere su correlato en sentido epistemológico en el postulado de razón suficiente. Que interpretada de forma realista, la teoría cuántica exhibe un rasgo causal y en todo caso satisface la definición de determinismo que hemos propuesto. En última instancia, ya que la física cuántica, con su paradigma indeterminista, da una explicación válida de los fenómenos, podemos decir que cumple con las exigencias del postulado de razón suficiente y permite claramente un **realismo epistemológico**.

Una buena mirada a la problemática hace evidente que no es la validez intrínseca del conocimiento científico lo que está en juego en la discusión. El determinismo no es una condición fundamental de la posibilidad del conocimiento científico aunque sí la causalidad en tanto forma de explicación metodológica. Afirma Bunge:

sólo las erróneas ecuaciones Determinismo= Causalidad (estrechez ontológica) y Causalidad= Predecibilidad (vanidad antropomórfica) pueden servir de base al indeterminismo. La incertidumbre en el conocimiento está lejos de ser signo inequívoco de indeterminación o nebulosidad física. Además, la indeterminación empírica que caracteriza a la interpretación usual de la teoría cuántica es consecuencia de sus preocupaciones idealistas sobre la inexistencia de objetos físicos autónomos.⁶⁶

En síntesis, hemos demostrado que el problema epistemológico no se dirige al **sujeto**, sino al *método* y al *objeto*. Por lo que la incertidumbre no está en nuestro conocimiento ni en el mundo, sino en *la cantidad a ser medida*. Los llamados

⁶⁶ Bunge. *Causalidad*. P. 343

“observables” de la teoría cuántica son, en general, sólo estadísticamente predecibles: no es posible predecir con certeza los valores que una variable dada asumirá en la medición, es cierto, pero esta relativa incertidumbre en la predicción de los resultados de la medición es una indeterminación empírica que de ningún modo valida el indeterminismo en sentido ontológico. En otras palabras, la incertidumbre en el mundo cuántico **no** es el reflejo de una *indeterminación objetiva* sino que se refiere a **resultados de mediciones** (y con ello a las interacciones del objeto con su ambiente macroscópico) y no a las cosas en sí mismas. La **indeterminación** empírica referida, sólo atañe variables físicas representadas por operadores. La teoría cuántica, en cualquiera de sus interpretaciones no prescinde del determinismo en general, cuando mucho desecha el de corte newtoniano. La *determinación estadística* tiene que ser tomada en cuenta por toda filosofía de la ciencia: *azar ya no quiere decir ignorancia*. Debemos ver el azar como un *tipo peculiar* de determinación y definitivamente es digno de investigarse, pero eso supera los límites de nuestra discusión.

En lo referente a la **causalidad** hemos de recordar que el principio causal *no se puede demostrar* ya que *no es una proposición*, es decir, no puede ser ni verdadera ni falsa. Debemos verla más bien como una **regla del juego científico**, una *condición* (el Principio de Uniformidad de la naturaleza es otra) de la investigación científica que le permite eslabonar condiciones causales, por lo que además de ser indispensable es *conveniente*. La posibilidad de comprender algo del universo depende lógicamente de ella. El principio de causalidad es una *norma reguladora o metodológica de la investigación*. Y sobre todo, es una *recomendación generalizada* que insta a construir teorías y hallar sistemas apropiados a los cuales puedan aplicarse convenientemente

dichas teorías, ya que el conocimiento científico es la provincia principal del conocimiento racional.

Mario Bunge lo explica así:

De acuerdo con una creencia bastante difundida, la causalidad tipifica la ciencia desde sus orígenes hasta el nacimiento de la mecánica cuántica [...]. Pero la mayor parte de los filósofos, y algunos hombres de ciencia, saben que el principio causal ha sobrevivido al nacimiento de la teoría cuántica y que el pensamiento causal es mucho más antiguo que la ciencia moderna. La explicación por causa es, en realidad, tan antigua como la descripción fenomenológica de meras sucesiones temporales. Más aún, la reducción de la determinación a la causación aparece en etapas bastante rudimentarias del conocimiento...⁶⁷

La teoría del conocimiento, empresa completamente moderna, se *basa* en la distinción entre la conciencia y el objeto, el **sujeto** y el **objeto**. De acuerdo a esta **tradición**, de la que surge la ciencia occidental y que *la hace posible*, el conocimiento se presenta como una relación entre estos dos miembros, que permanecen en ella completamente separados el uno del otro. En otras palabras, para nuestra tradición filosófica y científica, el dualismo sujeto- objeto es parte esencial del conocimiento, igual que la **causalidad**. Por lo que podemos dejar bien establecida la posibilidad del conocimiento del mundo físico, es decir, podemos descansar la teoría cuántica sin ninguna dificultad en un **realismo epistemológico**. Doctrina filosófica que sostiene que

⁶⁷ Bunge. *Causalidad*. P. 238

el mundo existe de por sí, y que los seres humanos podemos conocerlo, aunque sólo sea en parte y de a poco.