

REPOSITORIO ACADÉMICO DIGITAL INSTITUCIONAL

“Problema de la filosofía ante la mecánica cuántica”

Autor: Jesús Pérez Rivera

**Tesis presentada para obtener el título de:
Licenciatura en Filosofía**

Este documento está disponible para su consulta en el Repositorio Académico Digital Institucional de la Universidad Vasco de Quiroga, cuyo objetivo es integrar, organizar, almacenar, preservar y difundir en formato digital la producción intelectual resultante de la actividad académica, científica e investigadora de los diferentes campus de la universidad, para beneficio de la comunidad universitaria.

Esta iniciativa está a cargo del Centro de Información y Documentación “Dr. Silvio Zavala” que lleva adelante las tareas de gestión y coordinación para la concreción de los objetivos planteados.

Esta Tesis se publica bajo licencia Creative Commons de tipo “Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada”, se permite su consulta siempre y cuando se mantenga el reconocimiento de sus autores, no se haga uso comercial de las obras derivadas.



“Descubrí que mi obsesión de que cada cosa estuviera en su puesto, cada asunto en su tiempo, cada palabra en su estilo, no era el premio merecido de una mente en orden, sino al contrario, todo un sistema de simulación inventado por mí para ocultar el desorden de mi naturaleza. Descubrí que no soy disciplinado por virtud, sino como reacción contra mi negligencia; que parezco generoso por encubrir mi mezquindad, que me paso de prudente por mal pensado, que soy conciliador para no sucumbir a mis cóleras reprimidas, que sólo soy puntual para que no sepan cuán poco me importa el tiempo ajeno. **DESCUBRÍ, EN FIN, QUE EL AMOR NO ES UN ESTADO DEL ALMA SINO UN SIGNO DEL ZODIACO**”.

Gabriel García Márquez.

Quiero dedicar este trabajo:

Al Ser que me ha regalado la existencia, Dios.

A la mujer más maravillosa que Dios puso en mi vida, mi Mamá.

A mis hermanos Enrique, Carlos y Ma. Guadalupe

A toda mi familia.

A Diana por compartir su vida como una integrante más de mi familia.

A la Señora Schekeiban por su ayuda incondicional.

A los amigos que me han acompañado en este proceso vocacional.

Índice

Introducción.....	4
Capítulo I. Desarrollo histórico de la Física Cuántica.....	6
1.1 La física del Siglo XVIII: ¿una teoría completa?.....	6
1.2 El cuanto de Planck.....	8
1.3 Bohr y el Principio de Complementariedad.....	11
1.4 La doble naturaleza de la materia.....	13
1.5 Heisenberg y el Principio de Indeterminación.....	14
Capítulo II. La física Cuántica y su esencia.....	19
2.1 El formalismo de la física cuántica y la diferencia con la mecánica clásica.....	19
2.2 La esencia de la física cuántica: probabilidad e inter dependencia.....	31
Capítulo III. Interpretaciones de la Teoría Cuántica.....	36
3.1 Bohr y La interpretación de Copenhague.....	37
3.1.1 El Principio de Incertidumbre.....	38
3.1.2 Multiplicidad de los mundos.....	40
3.2 Schrödinger y la superposición.	40
3.3 La concepción de Einstein sobre la física cuántica	43
3.3.1 El debate entre Einstein y Bohr. El argumento de EPR.....	44

3.3.2 Las variables ocultas y Las desigualdades de Bell.....	47
Capítulo IV. La filosofía ante el mundo cuántico.....	49
4.1 ¿Qué implican las interpretaciones de la Teoría Cuántica?.....	50
4.1.1 La postura positivista.....	51
4.1.2 La postura realista.....	59
4.2 Valoración de las posturas positivista y realista.....	65
Conclusión.....	68
Glosario.....	70
Bibliografía.....	73

Introducción

El hombre siempre se cuestiona, trata de explicarse el porqué de lo que pasa a su alrededor. Ha sido el intento de responder a esas preguntas lo que lo ha llevado a ser lo que hoy es. No siempre ha acertado, muchas ocasiones ha errado ante el camino que cree mejor, pero en otras tantas ocasiones, el hombre ha encontrado lo que buscaba e incluso, ha ido más allá de lo esperado.

La ciencia es uno de los frutos de ese quehacer del hombre cuyo resultado y aplicación lo han llevado a conocer su mundo, conocerse más a sí mismo y a mejorar su estilo de vida. Pero la ciencia, pese a sus características esenciales, no puede perder de vista que se desenvuelve a partir de la misma acción del hombre, de un contexto, de una cultura, de una historia, de una filosofía, por tanto su alcance más que en sí misma, es un alcance que llega a los rincones de esas partes de la vida del hombre; aunque no siempre se vea así, la ciencia se da en momento específico de la vida del hombre y de este modo, también la afecta. Precisamente cuando se encuentran frente a frente diferentes campos de la vida del hombre es cuando se ve necesario buscar, no solamente un punto de vista, sino los necesarios para hacer una valoración completa sobre la realidad, sobre la vida.

Esta labor es la que busca este trabajo, a partir de un método científico-reflexivo, específicamente, en una parte de la física en su rama más ínfima: el mundo cuántico. Este mundo, desde su descubrimiento hasta nuestros días, ha maravillado a aquellos que, de una forma u otra, lo han estudiado. Y con razón ha dejado a muchos con esa sorpresa porque parece ser que el comportamiento de este mundo microscópico es completamente distinto a lo que podemos observar ordinariamente, pareciera que todo se derrumba ante él y que contradice en todo momento a nuestra lógica y experiencia.

De ser así, nos encontramos ante una situación singular que pone al hombre el reto no sólo de conocer el origen del mundo sino de su origen mismo a

partir de la Teoría Cuántica; de ser así, estaríamos frente a un cambio de paradigmas que alcanzarían todas las dimensiones de la vida del hombre como la religión, la política, la ética, y lo pondrían ante un estilo de vida totalmente diferente.

Ha sido la labor de muchos científicos y filósofos, encontrar una respuesta satisfactoria a este problema cuyo límite se reduce a mantener, con nuevos postulados, los conceptos actuales o, por el contrario, cambiar completamente la visión del mundo y del hombre, de manera que todo lo que a ellos compete también tendría que modificarse. Aunque la teoría cuántica por sí misma no puede brindar la respuesta ahora mismo, muchos han tratado de apoyar una u otra postura y de tal forma han llegado a preguntas fundamentales, preguntas que otros campos del conocimiento, como la filosofía, han buscado desde antaño. Exponer estos pensamientos, cómo surgieron, la base en la cual se fundamentan, sus implicaciones ontológicas y epistemológicas y valorarlos desde el lente de la filosofía es el propósito de los siguientes capítulos, lo que permitirá que al final se encuentre una posible respuesta y solución que por el momento no pueden jactarse de ser certeros pero que siguen conduciendo el pensar y actuar de muchas personas.

CAPÍTULO I. Desarrollo histórico de la Física Cuántica

La física cuántica, también conocida como mecánica cuántica, teoría cuántica o mecánica ondulatoria es una de las revoluciones científicas más importantes de nuestra época, posiblemente de la humanidad. Esta teoría estudia sistemas físicos que están fuera de nuestra percepción sensorial y solo a través del desarrollo tecnológico actual se pudo llegar a ella. Ha aportado mucho a otros campos como la química, la biología, la electrónica, la industria, la computación, la medicina, etc.; actualmente gozamos de muchas aplicaciones tecnológicas de este estudio y sin embargo apenas somos conscientes de ello. Se trata de un sistema tan complejo que desde sus primeros pasos hasta hoy no se ha podido concluir; las dificultades, principalmente interpretativas, han puesto en un debate intenso a científicos de la talla de Einstein y Bohr. La sensación que esta teoría da de poder responder a los misterios del universo es una idea que se esfuma entre las manos de aquellos que la han estudiado y ha abierto tanto el panorama que muchos le han dado, incluso, un sentido profundamente místico.

1.1 La física del Siglo XVIII: ¿una teoría completa?

Para entender todo esto será necesario embarcarse dentro de la teoría cuántica; el recorrido histórico será de mucha utilidad para dicho propósito. A finales del siglo XIX la física había tenido un camino muy prospero, su amplitud era tan basta que se le pudo considerar como la ciencia central o fundamental y grandes pensadores, desde la antigüedad hasta nuestros días, habían colaborado en su desarrollo, pero sólo algunos, por sus aportes innovadores, revolucionaron la visión del mundo; Galileo Galilei, por su parte, comprobaría que no había geocentrismo, posteriormente Isaac Newton dejaría como legado una visión mecánica del mundo con sus principios del movimiento y la Ley de la gravitación universal y finalmente se desarrollarían avances fundamentales sobre electricidad

y magnetismo a través de varios físicos que culminarían con la unión de ambas ramas: el electromagnetismo, elaborado por James C. Maxwell. También se daría, en esta época, los primeros descubrimientos sobre radioactividad y el descubrimiento del electrón por Joseph Thomson.

La física para entonces podía explicar casi todos los fenómenos físicos, su conocimiento era definitivamente imperioso y la satisfacción era tal que se podía escuchar a la comunidad científica en la voz de Lord Kelvin (William Thomson), conocido por el descubrimiento y cálculo del cero absoluto y por el desarrollo de la escala de temperatura que lleva su nombre:

“Hoy día la Física forma, esencialmente, un conjunto perfectamente armonioso, ¡un conjunto prácticamente acabado! ... Aún quedan dos nubecillas que oscurecen el esplendor de este conjunto. La primera es el resultado negativo del experimento de Michelson-Morley. La segunda, las profundas discrepancias entre la experiencia y la Ley de Rayleigh-Jeans”¹.

Serian precisamente esas “dos nubecillas” las que se encargarían de las siguientes revoluciones científicas. Las respuestas de esas dos incógnitas traerían consigo cambios radicales y se inaugurarían nuevas investigaciones. La respuesta a la primera incógnita dio como resultado el decaimiento de los conceptos absolutos del espacio y del tiempo por medio de la Teoría Especial de la Relatividad de Einstein, conceptos fundamentales en los aportes de Newton, y se daría por primera vez la introducción del concepto “relativo” para poder comprender y describir la realidad; la respuesta a la segunda incógnita dio a luz a las primeras ideas cuánticas dadas por el físico alemán Max Planck. Así se abre la puerta a la física cuántica.

¹ *Introducción a la Mecánica Cuántica*, en <http://es.scribd.com/doc/39778502/Introduccion-a-La-Mecanica-Cuantica> (27/02/2012).

La ley de Rayleigh-Jeans, mencionada por Kelvin, fue elaborada en 1899 e intentaba explicar el fenómeno físico llamado Radiación del Cuerpo Negro, es decir, el proceso por el cual se describe la interacción entre la materia y la radiación, el modo en que la materia intercambia energía, emitiéndola o absorbiéndola, con una fuente de radiación. Pero la propuesta de Rayleigh-Jeans predecía una producción de energía que tendía hacia el infinito ya que la longitud de onda iba disminuyendo cada vez más; esta idea no era tolerable en los experimentos y esta falla se conoció como “la catástrofe ultravioleta”.

1.2 El cuanto de Planck

Hasta 1900 se sabía que el intercambio de energía era de un modo continuo. Todos los cuerpos emiten radiaciones electromagnéticas a la temperatura ordinaria pero no percibimos ninguna. Solo a partir de elevadas temperaturas podemos percibir luz roja, amarilla intensa, blanca o deslumbrante conforme se acrecienta, es decir, conforme sube la temperatura crece la intensidad total de la luz y aparecen ondas cada vez más cortas sin desaparecer las anteriores. Pero la pregunta era: a una temperatura cualquiera ¿Qué intensidad tiene una radiación de longitud de onda determinada? Esta pregunta se intentó responder por muchos científicos pero los resultados solo eran aplicables a casos específicos pues solo respondían a ciertas temperaturas o a ciertas longitudes de onda. Planck es el primero en encontrar una fórmula para todos los casos respondiendo a cualquier longitud de onda y a cualquier temperatura.

La fórmula de Planck resolvía todos los casos pero había una dificultad: se tenía que admitir la “cuantificación” de la energía. Se tenía que decir que la energía no se transmitía de forma continua sino por “cuantos” de energía y no era tan sencillo porque desde Maxwell se admitía que la luz era radiación electromagnética de la misma clase que las de radio. Lo que traía consigo la ley de Planck era que la única forma experimentalmente correcta exigía la osada y

novedosa suposición de que el intercambio de energía era de forma discontinua, a través de la emisión y absorción de cantidades discretas de energía, que hoy se llaman “quants” de radiación.

Fue así que Planck, después del fracaso de todas las formulas apoyadas en las teorías clásicas de la continuidad de la energía, supuso que los osciladores electromagnéticos de determinada frecuencia (los electrones) no pueden absorber ni emitir cantidades arbitrarias de energía, sino múltiplos enteros de energía. Lo cual se expresa en la siguiente formula:

$$E = \nu h$$

Donde E es la energía de los fotones, ν es la frecuencia de la onda lumínica y h es una constante que hoy se denomina “Constante de Planck”. Esto viene a ser erg/seg, lo cual indica que se trata de un trabajo, de una acción y esta acción (h) era equivalente a 6.621×10^{-27} erg/seg. Así pues, la hipótesis lanzada por el físico berlinés consistía en que los osciladores variaban de energía, no de un modo continuo, sino por saltos, emitiendo o recibiendo una especie de granos elementales –quanta- de energía. En física se llama *acción* a una magnitud cuyo valor encontramos al multiplicar la energía por el tiempo en el que se ejecuta. La energía (aptitud para producir un trabajo mecánico) se mide con las mismas unidades que el trabajo: ergios, kilográmetros, julios. Entonces, según Planck la acción está también cuantificada y la constante h representa el cuanto de acción o porción mínima de acción².

Fue precisamente el hecho de que Planck, en su fórmula, tomará una igualdad entre la energía considerada como discontinua como continua, lo que desconcertó a los científicos. Posteriormente Planck expresaría en una carta:

“resumido brevemente, se puede describir lo que hice como un acto de desesperación... por entonces había estado luchando sin éxito durante seis años (desde 1894) con el problema del equilibrio entre radiación y materia y sabía que este problema tenía una importancia fundamental para la física;

² Cfr. SERRANO A. Jorge, *Filosofía de la Ciencia*, Trillas, México, 2003, 97-102.

también conocía la fórmula que expresa la distribución de la energía en los espectros normales. Por consiguiente, había que encontrar, costase lo que costase, una interpretación teórica. Tenía claro que la física clásica no podía ofrecer una solución a este problema, puesto que con ella se llega a que a partir de un cierto momento toda la energía será transferida de la materia a la radiación. Para evitar esto se necesita una nueva constante que asegure que la energía no se desintegre. Pero la única manera de averiguar cómo hacer esto es partiendo de un punto de vista definido. En mi caso, el punto de partida fue el mantener las dos leyes de la termodinámica. Hay que conservar, me parece, estas dos leyes bajo cualquier circunstancia. Por lo demás, estaba dispuesto a sacrificar cualquiera de mis convicciones anteriores sobre las leyes físicas. Boltzmann había explicado cómo se establece el equilibrio termodinámico mediante un equilibrio estadístico, y si se aplica semejante método al equilibrio entre la materia y la radiación, se encuentra que se puede evitar la continua transformación de energía en radiación suponiendo que la energía está obligada, desde el comienzo, a permanecer agrupada en ciertos cuantos. Esta fue una suposición puramente formal y en realidad no pensé mucho en ella”³.

Lo cierto fue que en los primeros momentos, ni siquiera el propio Planck estaba seguro de que las cosas eran así, aun después de que las pruebas experimentales argumentaran a su favor. Pero basado en estos planteamientos Einstein, en 1905, propuso que no sólo los intercambios de energía entre radiación y materia estaban cuantizados sino que la propia radiación no era más que un conjunto de partículas. A éstas las denominó fotones. Los fotones portaban una energía igual a la constante de Planck por la frecuencia de la radiación. Esto quiere decir que un aumento de intensidad de la luz significa un aumento en el número de fotones, pero todos ellos de la misma energía. Calculó que la energía de los cuantos de luz (fotones) también se medía a partir de la constante de

³ Carta de Max Planck a Robert Williams Wood, de 7 de octubre de 1931, reproducida en español en SÁNCHEZ RON, J. M., *Historia de la física cuántica*, 134 -135.

Planck. Fue gracias a este estudio por el que Einstein recibió, en 1921 el Premio Nobel, por la descripción del llamado efecto fotoeléctrico.

Ahora la propuesta de Planck daba un carácter corpuscular a un fenómeno tradicionalmente ondulatorio como lo era la radiación. Se suponía entonces, el cambio de una naturaleza continuista a una visión discontinua. Sola una reforma tan grande como esta sería digna de causar una ruptura a una ciencia que se consideraba casi terminada, a tal grado que hoy sabemos que la física que antecede a Planck es llamada física clásica y a partir de él recibe el nombre de física cuántica. Esto no quiere decir que se aceptara con facilidad, pues el mismo Planck mantenía sus reservas y la comunidad científica se resistía a mirar el cambio que conllevaba la aceptación de un planteamiento de tal magnitud y, por supuesto, sus consecuencias:

“Según los especialistas, en 1917 se comenzó a comprender en toda su extensión la revolución conceptual que, en última instancia, representaba el descubrimiento del cuanto de acción. L. de Broglie ha dicho: ‘A pesar de la importancia y extensión de los progresos realizados por la física en los últimos siglos, en tanto que los físicos ignoraron la existencia de los quanta no podían comprender nada de la naturaleza íntima y profunda de los fenómenos físicos’. El día que aparecieron los quanta, el vasto y grandioso edificio de la física clásica se encontró sacudido hasta en sus fundamentos, sin que de pronto los físicos se dieran bien cuenta de ello. En la historia del mundo intelectual hay pocos movimientos sísmicos comprables a éste”⁴.

1.3 Bohr y el Principio de Complementariedad

Siendo el campo muy basto y con muchos estudios al descubierto, otro significativo aporte fue, sin duda, el que hizo Niels Bohr. Este físico danés, se encontraba estudiando la naturaleza del átomo, específicamente el átomo de

⁴ SERRANO A. Jorge, *Filosofía de la Ciencia...* 101.

hidrogeno, por ser el más simple y por ser un campo novedoso en su época. Apoyado de las teorías de Rutherford, quien fuese su profesor en Mánchester, y tomando en cuenta las aportaciones de Planck, se introdujo en una ardua labor.

Fue así que, en 1913, publicó su modelo atómico, basado en el modelo atómico de Rutherford, introduciendo la cuantización e incorporando algunas ideas del efecto fotoeléctrico de Einstein. Bohr afirmaba que en la física moderna las ideas de corpúsculo y de onda, de localización en el espacio y tiempo, de estados dinámicos bien definidos y algunos otros, son complementarios entre sí. Si alguno de estos conceptos se ajustara a la realidad de manera rigurosa, excluiría por completo al otro, sin embargo se ha encontrado que ambos son útiles en cierto grado para la descripción de ciertos fenómenos y, aunque sean contradictorios, se deban utilizar alternadamente según los casos. Esto quiere decir que para la descripción completa de los fenómenos observables, es necesario tener en cuenta una concepción y otra, pero nunca se les puede aplicar simultáneamente de manera completa a la descripción de la realidad, es entonces que se convierten en magnitudes complementarias.

Es por eso que Bohr propone lo que llamó Principio de Complementariedad: “una rigurosa descripción de los procesos individuales en el espacio-tiempo y una rigurosa sucesión causal para tales procesos no pueden realizarse simultáneamente; la una o la otra debe ser sacrificada. Los dos aspectos son complementarios”⁵.

Lo que Bohr manifiesta con este principio es que la utilización de conceptos clásicos, como el espacio-tiempo, en la descripción de un sistema cuántico deja fuera la utilización de otro conjunto, como impulso y energía, que es complementario. Este principio será de gran importancia pues tomará otros matices fuera la física cuántica para ser aplicado a otras áreas como la filosofía e

⁵ Cfr. SERRANO A. Jorge, *Filosofía de la Ciencia...* 102.

incluso a la teología⁶. Pero también negará que podamos describir con certeza en espacio-tiempo la hilación de los fenómenos causalmente considerados. Bohr fue uno de los mayores aportadores y su labor fue esencial; defendiendo su pensamiento, como veremos más adelante, debate ante Einstein las implicaciones de la física cuántica

1.4 La doble naturaleza de la materia

Después de Bohr, vendría L. V. de Broglie con otra propuesta novedosa e impactante. En noviembre de 1924 de Broglie en su tesis doctoral titulada “Investigaciones sobre la teoría de los quanta”, concilia los términos de onda y corpúsculos, dos fenómenos que se consideraban separados, esto le daría el Premio Nobel de Física en 1929. En 1927 se lleva a cabo un experimento cuyo resultado empataba con la propuesta de Broglie. Se comprobó que los electrones experimentan difracción, una característica de las ondas. Es lo que se llama dualidad onda partícula, y no sólo se da en los electrones y demás partículas subatómicas, se cumple en cualquier cuerpo, desde un balón de fútbol, pasando por una persona o un edificio, y hasta los planetas o el Sol. Lo que ocurre es que la longitud de onda es menor cuanto mayor es el objeto, y por tanto es inapreciable a escala mayor que la de los átomos. Lo que se proponía era que el electrón en movimiento tenía una doble naturaleza: por un lado era una partícula, pero también presentaba las características de una onda. Piensa que el fotón es un corpúsculo, que parte de un cuerpo que irradia energía, y que al avanzar, ese cuanto, engendra a la onda electromagnética, formando un “corpúsculo-onda” Teniendo en cuenta las consecuencias que su investigación tenía escribe en su tesis:

⁶ Cfr. DE LA TORRE Alberto Clemente, *Física Cuántica para Filo-sofos*, FCE, México, 2009, 114-115.

“Si en la teoría de la luz se ha descuidado, por espacio de un siglo entero, el aspecto corpuscular, ¿no puede haberse cometido el error inverso en la teoría de la materia? ¿no puede haberse descuidado torcidamente el aspecto onda, para no fijarse más que en el aspecto corpúsculo?”⁷.

A partir de este momento las propiedades de la materia y de la radiación, los corpúsculos y las ondas quedan asociados constantemente entre sí, dado el punto de que no se puede considerar uno sin el otro.

1.5 Heisenberg y el Principio de Indeterminación

Posteriormente un discípulo de Bohr, Werner K. Heisenberg, físico alemán, le daría una forma matemática a la necesidad de las magnitudes complementarias. Heisenberg, nacido en 1901, obtendría, por sus aportaciones, el Premio Nobel de Física en 1932, principalmente por su famoso “Principio de Indeterminación” y su Teoría de los observables. Tuvo una gran inspiración de las ideas relativistas de Einstein⁸.

Para comprender a Heisenberg, se recurre primeramente a la física clásica, la cual nos dice que para determinar el estado de una partícula se debe tener en cuenta ocho unidades: las coordenadas espacio-tiempo, que nos dan la situación del corpúsculo y sus *canónicamente conjugadas* que dan el estado dinámico, es decir, su energía y movimiento. A las primeras se puede poner x , y , z y t , y a las canónicas P_x , P_y , P_z y W , donde W es la energía. Siguiendo con la física clásica, conociendo estos ocho valores quedan determinados para adelante y para atrás todo el movimiento y las posiciones sucesivas de la partícula.

⁷ RIAZA Morales José Ma., *Ciencia Moderna y Filosofía*, BAC, Madrid, 1961, 415.

⁸ Cfr. *Ibíd.*, 423.

Pero Heisenberg dice que cuando medimos algo alteramos la cantidad real, esta alteración es mayor en cuanto más exacta se verifique la medida en cuestión. Heisenberg afirma que en la observación y experimentación sólo encontramos indeterminación, una indeterminación que no es que no es únicamente accidental, sino que es esencial. Ésta indeterminación, dice, encontrada en las relaciones de incertidumbre, debe considerarse como una característica esencial del electrón (corpúsculo). Al tratarse de un electrón es imposible determinar a la vez con exactitud absoluta dos cantidades conjugadas y, no por la imperfección del instrumento, sino por la misma naturaleza de las cosas, porque la medida de una de las dos cantidades perturba el valor de la otra en un tanto, indeterminado dentro de ciertos límites.

El mismo instrumento con el que se mide provoca una perturbación en la medición. Tomando en cuenta, por ejemplo, que se debe medir la temperatura, se coloca un termómetro, éste produce por necesidad un pequeño cambio de la temperatura que se quiere obtener, ya que toma del cuerpo un poco de calor. Pero si se conoce algunos datos del instrumento con el que se midió, con la información de las constantes de los materiales, se puede obtener una corrección más o menos completa del error. Entonces en toda medición, hay necesariamente una intervención en el sistema medido, con la cual se altera el estado original y se falsifica la medida misma. Entonces, si se puede calcular el valor de dicha perturbación, se puede calcular con precisión la medida que se quiere encontrar. Esta indeterminación que acompaña a toda medición era considerada como accidental o pasajera. Pero Heisenberg señala una imprecisión, una indeterminación absoluta o esencial. Heisenberg consideró la dificultad que había en medir la posición y la trayectoria de un electrón. El problema consistía en que para obtener una medida precisa era necesario utilizar luz para ver el electrón. Tomando en cuenta que la luz, al igual que la materia, tiene una doble naturaleza de onda y partícula. Entonces, un electrón al ser iluminado sería golpeado por los fotones, de forma que si su posición era claramente establecida, poco o nada se podría saber sobre su trayectoria, puesto que habría sido desviada por la acción de la luz.

Para ser más claro respecto a esto Alberto Clemente de la Torre nos pone otro ejemplo:

“Consideremos el sistema físico clásico compuesto por un ciclista (que puede, o no, ser un físico, clásico o cuántico) que se mueve en su “todo terreno” a lo largo de una calle. Para medir experimentalmente la posición del ciclista, su velocidad, podemos utilizar una técnica fotográfica que consiste en: 1) elegir un tiempo muy corto de apertura del obturador a fin de medir la posición con mucha precisión, o 2) poner un tiempo largo para medir la velocidad. Si el tiempo de exposición es muy corto, 1/1000 segundos, la foto obtenida será muy nítida, lo que permite determinar con precisión la posición del ciclista durante la foto, pero la velocidad quedará indeterminada. Si, por el contrario, elegimos un tiempo de apertura largo, 1 segundo, la foto no será nítida, quedando la posición mal definida, pero nos permite calcular la velocidad dividiendo el corrimiento por el tiempo de exposición. Si contamos con un aparato fotográfico, entonces tendríamos que optar por medir precisamente la posición, dejando la velocidad incierta, o bien medir la velocidad con alta precisión a costas de la imprecisión en la posición... si en vez de un ciclista tenemos un electrón, las “fotos” se obtendrían con fotones de alta energía para conocer la posición, y de baja energía para la velocidad. Pero estos fotones modifican brutalmente el estado del electrón. Aquí si estamos frente al principio de incerteza que en forma ineludible nos impide determinar con precisión arbitraria la posición y el impulso de una partícula cuántica”⁹.

De esta manera surgirá el Principio de indeterminación que se puede enunciar así: Es la ley de la Naturaleza que no podemos conocer con exactitud el estado actual de ningún corpúsculo¹⁰. Los dispositivos (microscópicos) concebidos por Heisenberg y las demostraciones que utiliza en ellos no llegan a probar de manera general la imposibilidad de medir el estado de un corpúsculo o de un

⁹ DE LA TORRE Alberto Clemente, *Física Cuántica para Filo-sos...* 59-61.

¹⁰ Cfr. RIAZA Morales José Ma., *Ciencia Moderna y Filosofía...* 649.

sistema. La demostración general teórica del Principio de indeterminación viene dada por la mecánica cuántica.

Esto trae consigo el descubrimiento de una indeterminación cognoscitiva. De esto Heisenberg concluirá que si se observa una indeterminación en la experimentación, entonces hay una indeterminación objetiva en el microcosmos. De estas conclusiones algunos tratarán de hacer una aplicación al campo ético o psicológico pero traería un determinismo riguroso, el cual da a entender que los electrones tienen una libertad semejante a la del hombre. Incluso se tuvo como una consecuencia la negación del principio de causalidad y la existencia de leyes físicas. El mismo Einstein estaba convencido de que estas ideas eran erróneas que intento atacar, sin éxito, este principio en el debate con Bohr.

Los avances que Heisenberg tenía lo llevaron a establecer una Mecánica nueva, una mecánica para el mundo del átomo, sirviéndose únicamente de *observables*¹¹. A ésta se le conoce hoy con el nombre de Mecánica de las matrices pues se utiliza para su cálculo la parte del Algebra que se llama Algebra de las matrices, que estudia las determinantes. Esta mecánica de las matrices inicio con un desarrollo independiente de la mecánica ondulatoria, y en contraste con esta, es de tendencia corpuscular. Ambas parecían muy diversas entre sí, por lo menos hasta que otro personaje propuso lo contrario: Erwin Schrödinger.

Schrödinger, se encargó de identificar la mecánica ondulatoria y la mecánica de las matrices. Arrancando de su “ecuación de onda” llegaba a las matrices de Heisenberg, como a la inversa. La llamada ecuación de Schrödinger no es otra cosa que una ecuación que describe la forma en que una partícula cambia al paso del tiempo. Se estudia a las partículas como una onda sonora o una onda producida por la perturbación del agua. Cualquier tipo de onda se describe en cualquier instante mediante una lista de números, un número por cada

¹¹ Por observables se entiende aquellas magnitudes que se pueden conocer por un experimento conceptualmente posible o que son conocidas por la observación, que no se opone a ninguna ley física o lógica.

punto del espacio por el que viaja la onda. En el caso de la onda sonora, los números nos darán la presión del aire en cada punto del espacio (porque es el aire quien transmite el sonido). Y del mismo modo, la función de onda de las partículas nos da números concernientes a estas partículas. De esta manera un mismo problema se puede resolver en parte por la mecánica de las matrices y en parte por la mecánica ondulatoria; una se vuelve útil para la otra y llevan a los mismos resultados. Posteriormente a estas soluciones, M. Born les asigna una interpretación probabilística; pero sería Paul. A. M. Dirac señaló que tanto Heisenberg como Schrödinger tenían razón pues las formulaciones que proponían eran maneras equivalentes de representar lo que desde entonces se conoce como física cuántica o mecánica cuántica.

CAPÍTULO II. La física cuántica y sus distintas interpretaciones.

2.1 El formalismo de la física cuántica y la diferencia con la mecánica clásica

Después de una breve reseña histórica del surgimiento de la física cuántica es preciso señalar qué es en sí misma, qué implica, cuales son sus consecuencias, sus aplicaciones y qué visión del mundo ha dado después de poco más de un siglo de investigación. Porque, es cierto que desde sus inicios, la física cuántica trajo consigo nuevos retos e interrogantes cada vez más profundas acerca de los orígenes del universo y desde esa perspectiva ha llegado un punto en el que las respuestas que se buscan, e incluso los términos que se utilizan, van uniendo diversas dimensiones del hombre, van respondiendo cuestiones planteadas desde las primeras generaciones y que, es notorio, siguen siendo de gran importancia en nuestros días. Las posturas e interpretaciones son diversas, como lo han sido a través del tiempo en distintos temas, pero, sin duda, tratan de ofrecer una respuesta a todo esto.

A estas alturas se puede decir que la física cuántica es una teoría que se encarga de explicar el comportamiento de la naturaleza al nivel de partículas, estudia los constituyentes más esenciales de la materia a los que se llaman “partículas elementales”. Y además es una teoría netamente probabilística, pues cuando se desciende hacia la escala atómica, existe un límite por debajo del cual toda ley rigurosa se esfuma viéndose reinar la ley puramente estadística¹².

Entrado el siglo XX, tras la labor de Einstein y de Planck, se introdujeron a la física dos nuevos paradigmas que habían puesto un gran alboroto en la física clásica, que se creía casi completa. La teoría de la relatividad obligó a mirar al espacio y al tiempo no como inmutables e independientes sino como un continuo espacio-tiempo y en el caso concreto de la relatividad general, el campo

¹² Cfr. RIAZA Morales José Ma., *Ciencia Moderna y Filosofía...* 656.

gravitacional se convertía en un objeto dinámico interactuante con el resto de la materia. Mientras tanto, la mecánica cuántica, como ya se ha mencionado, trae una visión diferente en la explicación de los fenómenos microscópicos e introdujo, por primera vez, un indeterminismo esencial¹³. Ambas explicaciones nos introducen a las reglas que rigen lo más íntimo de la materia; la dinámica relativista nos conduce a la famosa ecuación de Einstein: $E= mc^2$, la cual permite la posibilidad de crear materia a partir de energía y viceversa. Mientras tanto la física cuántica dice que no se puede determinar con precisión ilimitada la posición y el momentum (impulso), eliminando así, el concepto de *trayectoria*, fundamental en la mecánica clásica.

Es así que la conjunción de ambas teorías, lo cual no fue fácil de hacer, lleva a lo que se conoce como teoría de los campos, el cual a su vez permitió idear un “Modelo Estándar” que permite describir de manera correcta todos los procesos observados por las interacciones electromagnéticas, débiles y fuertes entre las diferentes partículas elementales. Pero, la mayor parte de la comunidad científica entiende que, a pesar del éxito de éste modelo, es una teoría provisional, ya que hay aspectos que no han sido satisfechos; por ejemplo, no explica satisfactoriamente el origen de la masa de una partícula y tampoco incluye la interacción gravitacional. Esto no hizo disminuir los esfuerzos, al contrario; la búsqueda inasequible siguió por parte de los físicos y una de las respuestas sugeridas fue, por ejemplo, la Teoría de las Cuerdas la que propone que hay más dimensiones de las cuatro que conocemos¹⁴.

Pero cómo fue que se llegó a todo esto. Una de las formas para poder comprender la mecánica cuántica y sus repercusiones es recurrir a la confrontación de ésta con lo que ahora se conoce como mecánica clásica. De forma general la física es la ciencia que estudia las propiedades de la materia, el espacio, el movimiento, el tiempo y la energía, así como las interacciones entre sí; es una ciencia muy amplia, teniendo en cuenta que data de tiempos muy antiguos.

¹³ Cfr. GARRIDO Manuel, *El legado filosófico y científico del Siglo XX*, en AA. VV. Cátedra, Madrid, 2009, 753

¹⁴ Cfr. *Ibíd.*, 755-756.

En la actualidad, la física, para su mejor estudio, se ha dividido en cinco partes: mecánica clásica que describe el movimiento macroscópico, el electromagnetismo que describe la interacción entre campos eléctricos y magnéticos de las partículas, la relatividad que describe la relación espacio-tiempo y la interacción gravitatoria, la termodinámica que describe los fenómenos moleculares y de intercambio de calor y finalmente la mecánica cuántica cuya labor reside en las partículas elementales.

Para delimitar el campo de acción de cada una de estas partes, en su obra “Física cuántica para filo-sofos”, Alberto Clemente dice:

“La mecánica clásica, explicaba desde el movimiento de los planetas hasta el comportamiento de los objetos pequeños accesibles a nuestros sentidos. Con éxito se extendió a sistemas de muchas partículas en la mecánica estadística, termodinámica y mecánica de sistemas continuos como los gases, fluidos y sólidos...

Los sistemas físicos [...] aquellos de acción grande pero velocidades que se acercan a la de la luz, deben ser estudiados con la teoría de la relatividad que denominaremos aquí como mecánica clásica relativista. Los que están caracterizados por acción cercana a \hbar (constante de Planck) y velocidades pequeñas serán tratados con la mecánica cuántica [...] Finalmente, para los sistemas físicos que requieren un tratamiento cuántico y relativista, disponemos de la mecánica cuántica relativista”¹⁵.

Una vez delimitado el campo de acción de cada una de las partes de la física es importante mencionar que éstas están constituidas por dos partes: un formalismo y una interpretación. Cuando se quiere analizar, a partir de la física, un objeto se puede captar su posición, su movimiento, su velocidad, su masa, etcétera, pero si esto se hace de forma verbal se puede caer en imprecisiones, en la imposibilidad de comprobar su validez y de presentar varios significados según el observador; entonces se necesita asociar a cada concepto básico (posición,

¹⁵ DE LA TORRE Alberto Clemente, *Física Cuántica para Filo-sofos...* 38.

movimiento, velocidad, etc.) un símbolo matemático, representando de esta manera los posibles valores numéricos que se asignan de acuerdo a un procedimiento de medición, en otras palabras, las relaciones conceptuales se transforman en ecuaciones matemáticas que pueden ser manipuladas y que permite además crear conceptos nuevos, compuestos de los conceptos básicos, para interpretar las nuevas ecuaciones obtenidas; de esta manera se ha adquirido un formalismo. Entonces los conceptos adquieren un formalismo cuando se les asigna un símbolo matemático. Pero también cuando a esos símbolos matemáticos se les da un significado correspondiente a alguna característica de lo que se ha observado, se adquiere una interpretación¹⁶. Alberto Clemente lo expresa así:

“El conjunto formado por los símbolos y las relaciones matemáticas que los combinan constituye el *formalismo* de la teoría, y los conceptos que le dan significado a todos los símbolos son la *interpretación* de la misma”¹⁷.

Es aquí cuando comienzan los problemas de la mecánica cuántica, pues su formalismo está bien definido e incluso se afirma que tiene una precisión numérica como no había existido dentro de la física, pero no hay una aceptación universal y sin contrariedades dentro de su interpretación.

La física tiene como objetivo conocer el estado del sistema físico que se observa, para ello necesita conocer algunas de sus propiedades, las cuales se representan con un elemento matemático, ya sea de forma de ecuaciones o en un conjunto de números o funciones; esto permite, tomando en cuenta la evolución del sistema físico con el tiempo, calcular en cualquier instante el estado de dicho sistema, es decir, su trayectoria. Dicho de otra forma podemos conocer, a través de los valores asignados, el conjunto de propiedades que contienen las

¹⁶ Cfr. DE LA TORRE Alberto Clemente, *Física Cuántica para Filo-sofos...* 23.

¹⁷ *Ibíd*em 23-24.

coordenadas e impulsos del sistema. Pero esto no sucede con la mecánica cuántica:

“¿Es posible fijar el estado de un sistema cuántico de la misma manera? Veremos que no, pues el principio de incerteza [...] nos prohíbe hacerlo. El estado cuántico está determinado por un conjunto de propiedades, pero el mismo no puede incluir propiedades asociadas a todas las coordenadas e impulsos [...] ¿Cómo es posible, entonces, si el estado cuántico no contiene todas las coordenadas e impulsos, hacer predicciones para los observables que no incluye? Justamente, el mismo motivo que nos impide unir todos los observables en el estado, el principio de incerteza, es producido por cierta dependencia entre dichos observables que los relaciona y permite hacer las predicciones [...] a su vez estas predicciones no son precisas o exactas, como sucede en la física clásica, sino que son probabilísticas o estadísticas”¹⁸.

El cambio que tuvo que darse entre la mecánica clásica y la física cuántica, desde sus primeras proposiciones, fue precisamente que el paradigma que se tenía al estudiar un mundo que estaba al alcance de los sentidos, tenía que dejarse al entrar a un mundo microscópico; las leyes que se conocían hasta entonces no abarcaban los campos descubiertos, no contemplaban que el comportamiento de la naturaleza sería distinto en su pequeñez. Los elementos más pequeños cambiaban totalmente la forma de comportarse frente a los cuerpos que se componen a través de ellos.

Actualmente se sabe que toda la materia conocida, incluyendo la materia orgánica, puede mirarse como un compuesto de moléculas que determinan sus propiedades físicas, químicas y que éstas a su vez están compuestas por átomos. A decir verdad, esta idea fue propuesta desde hace siglos, aunque no con la exactitud con la que se conoce hoy; el concepto de átomo ha existido desde el

¹⁸ DE LA TORRE Alberto Clemente, *Física Cuántica para Filo-sofos...* 56.

siglo IV a. C., desde la época de Demócrito, pero sería hasta apenas casi un siglo que se darían avances muy significativos al respecto. Fue así que durante mucho tiempo se pensó que el átomo era la parte más pequeña de la materia, de ahí su nombre (“átomo” que significa ‘sin división’). Pero gracias a la aportación del inglés Richard Joseph Thomson en 1897 ahora se sabe que los átomos albergan en su interior a los electrones, partículas que tienen una carga negativa, esto fue lo que inició una serie de descubrimientos importantes. Poco tiempo después, en 1918, Ernest Rutherford encontraría el núcleo, los protones cuya carga es positiva y finalmente los neutrones, carentes de carga, serían una aportación de James Chadwick en 1932. Estas tres partículas se vieron nuevamente como indivisibles y, en ese momento, como las partículas elementales.

Nuevamente se rompería esta idea con el paso de los años pues en 1960 un físico estadounidense, Murray Gell-Man, predijo la existencia de los llamados “quarks”, partículas que serían los constituyentes principales de los protones y los neutrones. Este modelo fue demostrando su validez con el tiempo, explicando de manera correcta el comportamiento de las partículas que formaban. Los quarks pasaron a ser, junto con los electrones, los legítimos “á-tomos”. Teniendo en cuenta esto, se puede notar que el estudio de las partículas es una labor ardua, pues se trabaja con partículas que son increíblemente pequeñas:

“Para darnos una idea, ‘un átomo *típico* mide alrededor de una diezmillonésima de metro’ explica el Dr. Alberto Güijosa, investigador del Departamento de Física de Altas Energías del Instituto de Ciencias Nucleares de la UNAM. ‘Su componente mayor, el núcleo, es 10 mil veces más pequeño’ mientras que a su vez el tamaño de los protones y neutrones que hay en su interior es todavía 10 veces menor. Si esto no parece lo suficientemente diminuto, basta decir que los electrones que giran alrededor del núcleo y los quarks de los que se componen los protones y neutrones son al menos otras cien veces más minúsculos. ‘Miden a lo más una cienmilbillonésima de metro. Esto es, si los átomos fueran del tamaño de la

tierra, las partículas fundamentales serían tan grandes como una manzana', refiere Güijosa"¹⁹.

El conocimiento de estas partículas elementales se logró gracias a colisiones controladas de protones o electrones a través de las famosas maquinas conocidas como aceleradores de partículas; el primero de estos aparatos fue construido en 1930²⁰. Con este avance y con los estudios realizados, entre 1971 y 1973 se postuló el "Modelo Estándar" que, a grandes rasgos, explica cómo es que las partículas elementales interactúan entre sí.

Lo que el Modelo Estándar pretende es conocer de qué está hecha la materia hasta su entidad más ínfima y cómo se relacionan estas entidades entre sí. Hasta ahora se sabe que la materia está compuesta por 12 partículas elementales, que en conjunto son denominados fermiones: 6 tipos de quarks y 6 tipos de leptones.

Los leptones que se conocen son el electrón, el muon, el tau y tres neutrinos asociados con cada uno de ellos (neutrino electrónico, neutrino muónico y neutrino tauónico); y cada una de estas seis partículas tiene una antipartícula correspondiente. Los 6 quarks que se conocen son el quark arriba (u), abajo (d), encanto(c), extraño (s), cima (t) y fondo (b) –las letras que los representa es debido a letra inicial de cada palabra en su equivalente en el ingles: up, down, charm, strange, top y bottom, respectivamente-; algo que caracteriza al quark, es que no se encuentra solo, siempre se hallan en combinaciones de 2 o 3, incluso hasta 5 quarks formando otras partículas, en cambio los leptones pueden encontrarse libres en la naturaleza. Hasta este momento se cree que la materia se compone de tal manera pero existen algunos que afirman la existencia de una estructura interna en el quark.

¹⁹ RANGEL Sarai J. *Incógnitas del Universo*, Muy Interesante, XXVIII, No. 9, 48-66.

²⁰ Cfr. SABADELL Miguel Ángel, *Universo Cuántico, un mundo de locos*, Muy Interesante, XVII, No. 10, 4-20

Todas estas partículas tienen una forma continua de relacionarse y afectarse entre sí; interactúan atrayéndose o repeliéndose por medio de fuerzas o interacciones de cuatro tipos de fuerzas: la fuerza electromagnética, la fuerza gravedad y lo que se conoce como fuerza nuclear fuerte y fuerza nuclear débil:

“La fuerza electromagnética fue descrita en 1864 por el escocés James Maxwell (1831-1879), mientras la gravedad sería postulada por Isaac Newton (1642-1727) en 1687.

[...] la fuerza fuerte y fuerza débil, nos resulta menos familiares porque su acción sólo es apreciable a escalas subatómicas. La fuerza fuerte es la responsable de que los núcleos atómicos se mantengan unidos. Si esta fuerza no existiera, la repulsión electromagnética terminaría actuando al interior del átomo y separaría a los protones. En cambio, la fuerza débil se encarga de cierto tipo de reacciones, como la radiactividad (desintegración de algunos núcleos atómicos) y la fusión del hidrógeno (tal como se genera la energía solar) [...]

Pero hay otros componentes que faltan por identificar en esta compleja sopa de partículas y fuerzas. Se trata de los ‘portadores’ de las fuerzas o ‘mensajeros’ que actúan sobre ellas, conocidos como bosones. Por cada fuerza hay un tipo diferente de bosón que transmite las manifestaciones de los leptones o quarks. Por ejemplo, la energía solar y el fenómeno de la luz y colores se manifiestan gracias a los fotones, que sirven como portadores de todas las formas de radiación electromagnética: rayos X, luz ultravioleta y luz visible. Otros ‘mensajeros’ son los gluones (nombre derivado del inglés *glue*, pegamento) que sirven para mantener adheridos a los quarks dentro de los protones y neutrones. Otros bosones son las partículas llamadas W+, W- y Z, con la capacidad de transformar el número atómico de los elementos, de convertir un quark en otro”²¹.

Ahora, sucede que el electromagnetismo puede explicar cómo las partículas se relacionan con los fotones, y la fuerza débil puede describir la interacción de los

²¹ RANGEL Sarai J. *Incógnitas del Universo...* 54.

bosones W y Z con los electrones y los quarks, pero lo que no se puede decir es cómo estos elementos no tienen el mismo peso, ya que los fotones y gluones no tienen masa pero todas las demás partículas sí. La respuesta estaría en la propuesta de Peter Higgs con la partícula conocida como el “Bosón de Higgs”, o también llamada “La Partícula de Dios”, por el papel fundamental que juega dentro del modelo, pero ésta no se ha encontrado:

“Debido a que el Modelo Estándar predice que las partículas no deberían tener masa, el hecho de que si tengan pone entredicho que el modelo sea de fiar. El físico escocés Peter Higgs (nacido en 1929) ‘inventó un truco matemático para resolver esto: el mecanismo de Higgs. Sólo que para ello debe de existir un campo invisible que lo permea todo, al que hemos llamado el campo de Higgs’, aclara el doctor Gerardo Herrera.

Lo importante aquí es que, si este campo existe, forzosamente debería tener una partícula que dé cuenta de él: el bosón de Higgs. De hecho, de entre todas las predicciones que se han hecho por medio del Modelo Estándar ésta es la única que queda por comprobar.

El dilema sería que, si no llegan a encontrarlo, el Modelo Estándar tendría que ser ‘reestructurado’. ‘El Higgs ha estado tanto tiempo en el Modelo Estándar, ha sido tan esperado y es tan necesario, que lo que sería una revolución es que no estuviera allí’, concluye Herrera Corral²².

Se le llamó “la Partícula de Dios” precisamente porque podría explicar el origen de la masa encontrada en las partículas elementales y se cree que a partir de ésta se podría entender el origen mismo del universo. Este nombre se le debe a Leon Lederman, exdirector del laboratorio Fermilab, en Chicago y Premio Nobel.

Pese a no haber encontrado aún la ‘partícula divina’, el Modelo Estándar es una teoría que contiene un gran avance científico y su progreso no es despreciable, puesto que explica prácticamente todos los fenómenos y objetos

²² RANGEL Sarai J. *Incógnitas del Universo...* 54.

que están a nuestro alrededor a partir de las partículas mencionadas. Ha superado, por 30 años, las pruebas a las cuales se ha sometido. Algunas partículas fueron, primeramente predichas por el modelo y posteriormente encontradas en las experimentaciones. Pero es necesario aclarar que pese al éxito que tiene, también tiene ciertas carencias puesto que no logra explicar el origen de la masa en las partículas y además, teniendo en cuenta que debe explicar la interacción entre partículas elementales y las fuerzas, no incluye la interacción gravitacional²³.

En la explicación del origen de la masa, el Modelo Estándar, como se ha mencionado, propone teóricamente el bosón de Higgs, aunque falta la prueba material y en el caso de no incluir la fuerza de gravedad, no es porque se haya dejado deliberadamente sino porque hasta ahora ha resultado irrelevante en los experimentos de la física de partículas, pues cuando se entra en este micromundo, la fuerza de gravedad es la fuerza más débil de todas. Para percibir los efectos de la gravedad, se necesita una masa muy grande como es el caso de los planetas. Esta labor, recordado el campo de acción de las diferentes partes de la física, le compete a la Teoría General de la Relatividad, teoría que no ayuda mucho en el estudio subatómico. Es por eso que los físicos proponen la existencia de una partícula que sea portadora de las fuerzas gravitatorias a la que llamaron 'gravitón' y es así como se abre la puerta a otra teoría que juega un papel muy importante: la Teoría de las Cuerdas. Pero es una teoría que, al ir más allá que el mismo Modelo Estándar, es más difícil de explicar, de entender y sobretodo, de comprobar. Además es una teoría muy ambiciosa pues pretende ser una descripción completa, unificada y consistente de la estructura que sostiene al universo:

“La idea esencial detrás de la teoría de cuerdas es la siguiente: todas las diversas partículas ‘fundamentales’ del modelo estándar son en realidad sólo manifestaciones diferentes de un objeto básico: una cuerda. ¿Cómo puede ser esto? Bien, pues normalmente nos imaginaríamos que un

²³ Cfr. GARRIDO Manuel, *El legado filosófico y científico...* 756.

electrón, por ejemplo, es un 'puntito', sin estructura interna alguna. Un punto no puede hacer nada más que moverse. Pero, si la teoría de cuerdas es correcta, utilizando un "microscopio" muy potente nos daríamos cuenta que el electrón no es en realidad un punto, sino un pequeño "lazo", una cueredita. Una cuerda puede hacer algo además de moverse--- puede oscilar de diferentes maneras. Si oscila de cierta manera, entonces, desde lejos, incapaces de discernir que se trata realmente de una cuerda, vemos un electrón. Pero si oscila de otra manera, entonces vemos un fotón, o un quark, o cualquier otra de las partículas del modelo estándar. De manera que, si la teoría de cuerdas es correcta, ¡el mundo entero está hecho sólo de cuerdas!"²⁴

Aunque la formalidad que posee la Teoría de Cuerdas es de una belleza inigualable, la mayoría de los efectos nuevos predichos por esta teoría se ponen de manifiesto hasta distancias todavía más diminutas de las que se ha hablado anteriormente y no se puede comprobar con la tecnología actual y, parece ser que aún a largo plazo será difícil. Pero siguiendo su formalismo, la Teoría de Cuerdas ha encontrado su evolución en la Teoría de las Supercuerdas ya que introduce la "supersimetría" la cual evita que aparezcan estados *no físicos*.²⁵

Y por si esto fuera poco, debido a las lagunas que deja la Teoría de las Supercuerdas pero sin dejarla de lado, con una ambición todavía más grande surge, para los científicos, la posibilidad de una Teoría del Todo, una teoría que lograrse explicar de manera consistente las fuerzas conocidas y su interacción: la llamada "Teoría M". Dicha teoría debe formularse en un continuo de once dimensiones. Se estaría hablando de una teoría de la *gravedad cuántica*.²⁶ Una teoría que al igual que las anteriores se ve incompleta y, por ahora, improbable.

²⁴ ¿Qué es la Teoría de Cuerdas? en <http://www.nuclecu.unam.mx/~alberto/physics/cuerdas.html> (09/03/2012)

²⁵ Cfr. FERNANDÉZ ALVAREZ-ESTRADA Ramón en AA. VV., *Partículas elementales*, FCE, 2003, 186.

²⁶ Cfr. GARRIDO Manuel, *El legado filosófico y científico...* 756.

Todas estas teorías son el resultado de avances importantes pero de una complejidad alta. Por eso, para entender un poco más el funcionamiento de la mecánica cuántica, ahora se presentará un ejemplo de cómo la física cuántica estudia el comportamiento de una partícula tomando un experimento en el que un átomo emite dos electrones en direcciones contrarias:

“Mido el espín de uno de los electrones que viaja por mi laboratorio, mientras que mi amigo mide el espín del otro electrón conforme viaja por mi laboratorio. Elijo al azar la medida del espín del electrón a lo largo del eje x, y o z; mi colega hace una elección similar, aunque arbitraria, para cada medición. Estas mediciones se hacen simultáneamente o, por lo menos, lo más cercano posible en el tiempo, de manera que, de acuerdo con la teoría especial de la relatividad, no hay interacción física que pueda transmitirse de un laboratorio a otro que pudiera influir en el resultado.

Después de repetir el experimento muchas veces, los resultados son como sigue: los datos que yo tomé parecen completamente al azar, igual que los datos que mi amigo tomó. 50% de las veces que obtuve espines hacia arriba y 50% espines hacia abajo. Por otra parte, a partir del espín medido en la *n*-ésima medición soy incapaz de predecir el resultado de la medición *n*+1 y, del modo semejante, mi colega.

No obstante, si después comparamos los datos de los dos laboratorios, encontramos los siguientes resultados: cuando ambos coincidimos en medir el espín a lo largo del mismo eje, los datos estaban 100% anticorrelacionados: si yo medía un espín arriba, él obtenía un espín abajo, y viceversa. Sin embargo, cuando medíamos el espín a lo largo de ejes alternos (por ejemplo, el eje x para mí y el eje y para él), la anticorrelación sólo era del 25%”²⁷.

Si se aplicase la estadística clásica, el resultado no tendría que haber sido 25% de anticorrelación sino el 33% aproximadamente, ya que se tomó la elección ante 3 ejes. Además no había forma de que una prueba afectara a otra pues no

²⁷ RUSSEL Robert J, *Física, filosofía y teología, una búsqueda en común*, Edamex, México, 2002, 395.

hay una relación directa entre un laboratorio y otro. Esto lleva a dos cosas: la primera, es que la probabilidad es una parte fundamental de la física cuántica al no poder determinar de manera precisa la posición y el momento; y la segunda es que hay una relación, aparentemente desconocida, entre los sistemas cuánticos que hace que aún a distancias tomadas por separa siga existiendo dicha relación.

Y finalmente, qué sería de una ciencia en la que no cupiese una aplicación. El proceso de conocimiento de la física de partículas trajo una revolución tecnológica en las últimas décadas. El avance de la tecnología se mueve a pasos agigantados y pareciera que no tiene un límite. Las aplicaciones se extendieron a la medicina, las telecomunicaciones, la química, la biología, etc. Formas concretas en las que la mecánica cuántica encontró su aplicación.

2.2 La esencia de la física cuántica: probabilidad e interdependencia

La física cuántica trajo una visión completamente distinta de la ciencia y del mundo; los cambios que provocó fueron demasiados, no en vano se habla de ella como la teoría que había hecho caer la idea de que la física era una ciencia casi terminada. Aún con todos esos cambios que proporcionó, se puede decir que la esencia de la física cuántica se fundamente en dos cosas: la probabilidad y la interdependencia.

Como ya se explicó, los sistemas cuánticos se caracterizan por la imposibilidad de incluir todas las coordenadas y el impulso de cierto fenómeno físico, como lo venía haciendo la física. Esto se debe al llamado “Principio de incertidumbre”:

“Dicho principio establece que al medir una de las dos magnitudes conjugadas que caracterizan conjuntamente a un determinado microsistema (por ej., posición y momento o energía y tiempo), el propio hecho

experimental impide necesariamente que se llave a cabo la medición precisa de la otra. [...] El principio de incertidumbre es una representación simbólica de la dualidad onda corpúsculo.”²⁸

Siguiendo esta afirmación, se puede decir que lo que establecía Heisenberg con este principio, era que la interacción entre el sistema que se observa y el aparato de medición causan una deformación en lo que se observaba, es decir, el sistema se ve afectado y por tanto no se puede conocer con exactitud. Esto no es indiferente a otras disciplinas que también realizan mediciones, pero en el estudio del micromundo se da la particularidad de una afección tan grande que la propiedad que se conoce cuando algo se mide no dice nada de lo que hubo antes del experimento o medición. Esta incapacidad para conocer con certeza experimental cuál era el estado de un sistema cuántico antes de una observación puede abrir, como señala Alberto Clemente, una particular importancia en el debate filosófico realismo versus positivismo²⁹.

En el caso de la mecánica clásica se puede establecer con precisión todos los datos necesarios para fijar un sistema o hacer predicciones de él; es precisamente de lo que esta ciencia podía enorgullecerse hasta que se enfrentó con los problemas cuánticos. En el cálculo del movimiento de las partículas, por mejor que puede estructurarse, puede disminuir la cantidad de información que se tiene sobre el sistema. La información nueva puede destruir la información anterior en lugar de acumularla. Por ejemplo, si se dice que una partícula cuántica tiene una posición de $X=3m$ se puede estar seguro que en ese momento preciso en que se hizo la medición X equivale únicamente a $3m$ y cualquier otra medida no tiene cabida, pero pasado un instante después la propiedad $X=3m$ ya no es la localización exacta y adquiere una serie de probabilidades de distintas posiciones en las cuales se pueda encontrar la partícula; esto pasa porque las partículas

²⁸ BYNUM W. F., “Principio de Incertidumbre”, *Diccionario de la historia de la ciencia*, Herder, Barcelona, 1986, 452-453.

²⁹ Cfr. DE LA TORRE Alberto Clemente, *Física Cuántica para Filo-sofos...* 58.

cuánticas no siguen una trayectoria sino que se *difunden*. Lo que si permite hacer la mecánica cuántica es calcular la velocidad con que se difumina. Entonces, un electrón se difunde rápidamente perdiendo la propiedad de localización y adquiere una serie de probabilidades de ocupar otras posiciones. Tal proceso de transición de un estado de ubicación difusa a un estado exactamente localizado producido por la observación se llama “colapso del estado” y es otro de los aspectos en los que la interpretación no es clara³⁰.

Pero esta probabilidad no es equiparable con la que se hace en la forma clásica. La última se encarga de situaciones como la probabilidad de que un billete de lotería salga premiado, sucesos que no están relacionados causalmente, lo que no sucede en lo cuántico. Retomando el ejemplo del apartado anterior en el que el átomo emite dos electrones en direcciones contrarias, se puede apreciar claramente esta propiedad probabilística como una propiedad esencial. Pero también el ejemplo muestra que aunque no hay una influencia entre los laboratorios en lo que se llevaron a cabo las mediciones, sí son, en cierto grado, inseparables³¹. Lo extraño es que esto, de acuerdo a la relatividad especial, no debería suceder puesto que ninguna señal puede propagarse más rápido que la luz; el hecho de que los laboratorios no muestren una evidencia de la influencia entre ambos no se viola explícitamente la relatividad espacial pero en los resultados no se puede afirmar lo mismo pues se mantiene, en cierta medida, la correlación, es decir, hay una interdependencia, otra característica esencial de la teoría cuántica.

La mecánica clásica permite cierta independencia entre los sistemas estudiados, de manera que se puede hacer el cálculo de cierto sistema sin tener en cuenta a otro. Volviendo al ejemplo de medición del átomo que decae, se mencionaba como, aunque no había una conexión entre los observadores, los resultados si tenían cierta relación; así, los observables, en este caso los electrones, dejan de ser independientes, porque la asignación de ciertos valores a

³⁰ DE LA TORRE Alberto Clemente, *Física Cuántica para Filo-sofos...* 64-65.

³¹ RUSSEL Robert J, *Física, filosofía y teología, una búsqueda...* 396.

uno de ellos, pone condiciones a las posibles distribuciones de valores en otros; a esto se le conoce como estado no-separable³². El problema al que se enfrenta la interpretación es que no hay una causa aparente, no hay una cadena causal, pero hay una conectividad esencial en la realidad que la mantiene unificada en un todo. Esto conduce a un holismo, es decir, la necesidad de considerar a un sistema físico en su totalidad³³. Pero es un holismo de carácter científico que nada tiene que ver con misticismos ni esoterismos.

La representación palpable de ésta interdependencia es el principio de indeterminación. Este principio puede verse como la representación simbólica de la dualidad onda-corpúsculo³⁴. Recuérdese que Bohr propuso, a partir de la propuesta de dualidad onda-corpúsculo de De Broglie, que para describir completamente un fenómeno hay que aplicar una descripción de una y otra alternativamente, aunque siguen siendo conceptos inconciliables y por tanto no se pueden aplicar de manera simultánea es lo que ahora se conoce como “Principio de complementariedad”. Es Heisenberg quien, con el Principio de Indeterminación, da una forma matemática a la interdependencia entre magnitudes complementarias³⁵. Heisenberg insistió mucho en que no se podía llevar a cabo una medición en la que lo observado no se viera afectado por el aparato con el que se medía, algo que en el mundo microscópico afecta de manera radical:

“De Broglie expresa así la doctrina de Heisenberg: ‘El estado de un corpúsculo está definido en las concepciones clásicas por ocho cantidades: x , y , z , t , p_x , p_y , p_z y W que dan la posición del corpúsculo en cierto instante y su estado de movimiento. Estas ocho cantidades forman dos grupos: de una parte, las coordenadas de espacio y tiempo: x , y , z , t ; de otra, las magnitudes respectivamente conjugadas: p_x , p_y , p_z y W . Vamos a mostrar que... todo procedimiento que sirva para medir una de las ocho magnitudes altera necesariamente el valor de la cantidad conjugada, y tanto más cuanto la medida se efectúe con más precisión. La indeterminación que aquí resulta

³² Cfr. DE LA TORRE Alberto Clemente, *Física Cuántica para Filo-sofos...* 70.

³³ Cfr. *Ibidem*, 71.

³⁴ BYNUM W. F., “Principio de Incertidumbre”, *Diccionario de la historia de la ciencia...* 453.

³⁵ RIAZA Morales José Ma., *Ciencia Moderna...* 645.

no ha de considerarse como una indeterminación *accidental* debida a la imperfección de nuestros procedimientos de medida y que podría ser evitada con procedimientos más perfectos; es, por el contrario, una indeterminación *esencial*, proveniente de la perturbación del fenómeno estudiado por la medida misma y debida a una gran ley de la Naturaleza’.”³⁶.

La formulación matemática que estableció Heisenberg con sus “relaciones de indeterminación” se dan en orden al cuanto de acción que Planck había descubierto y con el que dio inicio a la revolución científica del siglo XX: ñ. Es gracias a esto que se puede concluir, respecto a las características esenciales de la física cuántica:

“[...] que la fijación del estado de una sistema cuántico por medio de una propiedad, o sea asignando un valor a un observable, sumando a que no es posible fijarlo con todas las coordenadas e impulsos, impone que las predicciones tengan carácter probabilístico [...] A los observables se les asigna valores de expectación e incerteza dependientes del estado en el que se encuentra el sistema. La dependencia de os observables entre sí se manifiesta en el producto de las incertezas, que nunca puede anularse para coordenadas y velocidades, y que, en estado no separables, tampoco se anulan para observables que en la física clásica se consideran totalmente independientes”³⁷.

³⁶ RIAZA Morales José Ma., *Ciencia Moderna y Filosofía...* 650.

³⁷ DE LA TORRE Alberto Clemente, *Física Cuántica para Filo-sofos...* 74.

CAPÍTULO III. Interpretaciones de la Teoría Cuántica

Anteriormente se mencionaba que la física cuántica, aún con toda la novedad que había traído y con el excelente formalismo que había alcanzado, no tenía una interpretación clara. Esto no quiere decir que no se haya hecho el intento pues es ineludible que tras ciertas proposiciones se sigan otras. Lo que no ha habido es una aceptación universal de todas las implicaciones que trajeron consigo las nuevas tendencias del mundo microscópico. Ha sido difícil adoptar una de las distintas interpretaciones que existen pues el fundamento de cada una de ellas recae en el conocimiento que se ha alcanzado en este campo y su formalismo alcanza a otras áreas de la vida del hombre. Las interpretaciones competen al campo filosófico, teológico e incluso, en algunos casos, ético y moral; y llevado a sus extremos, ha sido, para algunos, la base de un misticismo que pocas veces tiene lugar en la seriedad del tema. Pero también ha sido una labor ardua porque las interpretaciones son consecuencia, explícita o implícita, de los grandes fundadores de la teoría de los cuantos; personajes como Bohr, Einstein, Heisenberg, Schrödinger, de talento incuestionable que les da una autoridad ineludible en este campo.

Dirigiendo ya este tema al ámbito filosófico, aunque será en el siguiente capítulo donde se retomará de lleno a ésta ciencia de las causas, en este apartado se exponen algunas líneas de interpretación que son las más destacadas: la interpretación de Copenhague fundada en el “Principio de complementariedad” de Bohr y a la cual siguieron otros físicos y la segunda es la visión de Einstein, igualmente acompañado por otros científicos, destacando el argumento EPR. De igual forma la idea Schrödinger y la multiplicidad de los mundos propuesta por Everett como propuestas derivadas de las anteriores.

3.1 Bohr y La interpretación de Copenhague

Tras sus investigaciones arduas, Niels Bohr llega al Principio de Complementariedad, aportación por la que se le reconoce principalmente hoy en día, y es precisamente este principio en el que se fundamenta la llamada interpretación de Copenhague, llamada así porque Bohr dirigía el Instituto situado en dicho lugar y dedicado a tratar estas nuevas ideas de la física. Otras personalidades reconocidas, formaron parte de esta postura como lo fueron Heisenberg, Born, Jordan y Pauli.

Bohr propone un nuevo modelo atómico basado en el modelo de Rutherford y con ideas de Einstein acerca del efecto fotoeléctrico y de la cuantización de Planck. Bohr afirmaba que en la física moderna las ideas de corpúsculo y de onda, de localización en el espacio y tiempo, de estados dinámicos bien definidos y algunos otros, son complementarios entre sí. Si alguno de estos conceptos se ajustara a la realidad de manera rigurosa, excluiría por completo al otro, sin embargo se ha encontrado que ambos son útiles en cierto grado para la descripción de ciertos fenómenos y, aunque sean contradictorios, se deban utilizar alternadamente según los casos:

Posiblemente la mejor aproximación surge de una frase del mismo Bohr en la que manifiesta que la utilización de un conjunto de conceptos clásicos (por ejemplo, ubicación espacial y temporal) en la descripción de un sistema cuántico excluye la utilización de otro conjunto (impulso y energía) que es 'complementario' [...] Por este motivo, se propone en esta interpretación que debemos limitarnos exclusivamente a hacer frases sobre los aparatos experimentales con que se observan los sistemas cuánticos. Ahora bien, estas frases, debido a las inevitables interacciones entre el aparato y el sistema no se refieren al sistema individualmente, sino que se aplican al conjunto aparato sistema"³⁸.

³⁸ DE LA TORRE Alberto Clemente, *Física Cuántica para Filo-sofos...* 114.

Esto quiere decir que para la descripción completa de los fenómenos observables, es necesario tener en cuenta una concepción y otra, pero nunca se les puede aplicar simultáneamente de manera completa a la descripción de la realidad, es entonces que se convierten en magnitudes complementarias:

“Son descripciones complementarias que no pueden pensarse juntas. Se complementan pero no se excluyen. No se puede unir en una sola imagen la información obtenida de diferentes experimentos en un sistema físico”³⁹.

Es por eso que Bohr llega a lo que llamó Principio de Complementariedad: “una rigurosa descripción de los procesos individuales en el espacio-tiempo y una rigurosa sucesión causal para tales procesos no pueden realizarse simultáneamente; la una o la otra debe ser sacrificada. Los dos aspectos son complementarios”⁴⁰. Esto llevará, por último, a Bohr a decir que no se puede mirar como finalidad de la física la descripción de cómo es la naturaleza, no se puede hacer una descripción de la ‘realidad’ sino que solamente se puede aspirar a explicar las relaciones entre diferentes aspectos de la experiencia. Heisenberg, extremando el pensamiento de su maestro, Bohr, afirma que la física solamente tiene como fin predecir los resultados experimentales sin hacer uso de la palabra ‘realidad’. Conclusión que hace a partir de su Principio de incertidumbre.

3.1.1 El Principio de Incertidumbre

Ya explicado con anterioridad este principio, propuesto por Heisenberg, basta decir que su esencia está en la afirmación de que no se puede conocer con exactitud lo que se mide, pues el hecho de medir afecta lo observado, es decir, no se puede determinar.

³⁹ SERRANO A. Jorge, *Filosofía de la Ciencia...* 101.

⁴⁰ Cfr. *Ibidem* 102.

Se ha venido citando a este Principio como de 'Indeterminación' pues como ya se decía, no se puede determinar con precisión lo observado porque hay un efecto del aparato que lo distorsiona; esto indica que no se puede conocer la posición y el movimiento futuro de una partícula sino sólo con cierta probabilidad, pero esto no demuestra que realmente el corpúsculo no tenga esas propiedades. La indeterminación es cognoscitiva, o sea, es incertidumbre. Por tanto más que Principio de indeterminación es un Principio de Incertidumbre⁴¹.

La indeterminación que acompaña a toda medición era considerada como accidental o pasajera. Pero Heisenberg señala una imprecisión, una indeterminación absoluta o esencial a la partícula microscópica. De esto se siguió que Heisenberg, junto con otros científicos, declararan que la indeterminación en la experimentación es una indeterminación objetiva en el microcosmos y en el más radical de los casos, alcanza la negación del Principio de Causalidad. Postura que seguirá la interpretación de Copenhague.

Siguiendo a Heisenberg se dice que las entidades cuánticas poseen, potencialmente, posición y momento, uno de los cuales se puede actualizar en el acto de la observación, pero no ambos a la vez⁴². Esta idea abrió la puerta a la superposición en la naturaleza, pero en el nivel de partículas, ya que en el macromundo esto no sucede; esta idea es exactamente la que Schrödinger manifiesta en el ejemplo famoso del gato que está vivo-muerto.

Es precisamente en los Principios de Incertidumbre y Complementariedad que la interpretación de Copenhague encuentra su fundamento. Puede decirse que, a través de sus postulados, esta interpretación implica una postura positivista o muy cercana a ella⁴³. El mismo Einstein estaba convencido de que estas ideas eran erróneas que intentó atacar en una postura realista y determinista.

⁴¹ Cfr. RIAZA Morales José Ma., *Ciencia Moderna y Filosofía...* 652.

⁴² Cfr. RUSSEL Robert J, *Física, filosofía y teología, una búsqueda en común...* 399.

⁴³ DE LA TORRE Alberto Clemente, *Física Cuántica para Filo-sofos...* 114.

3.1.2 Multiplicidad de los mundos

Tomando en cuenta que la probabilidad es una de las características esenciales de la mecánica cuántica, en 1957 surgió la propuesta de Hugh Everett de que las probabilidades que se daban como resultado de la medición se hacían realidad en otros mundos, mundos paralelos. Cada alternativa cuántica se bifurca dando paso a otros mundos. Aunque es una interpretación poco verificable, puesto que no se tiene la consciencia de estos mundos, se dice que la teoría matemática es absolutamente coherente⁴⁴, pero a decir verdad es una de las interpretaciones que se ha difundido más en la ciencia ficción y que en una interpretación seria y comprometida empero es una de las propuestas más conocidas dentro de este campo. Nuevamente no debe confundirse con un misticismo absurdo o una idea de fundamentación de esoterismos y tampoco debe confundirse con la propuesta de la Teoría de Cuerdas que propone más dimensiones de las que se conocen actualmente y no mundos enteros como es este caso.

3.2 Schrödinger y la superposición

Erwin Schrödinger fue uno de los científicos y filósofos que se negó a aceptar las ideas positivistas y reduccionistas de Bohr y de Heisenberg. Schrödinger, se encargó de identificar la mecánica ondulatoria y la mecánica de las matrices. Ideó la “ecuación de onda” que lo conducía a las matrices de Heisenberg y viceversa. La llamada ecuación de Schrödinger no es otra cosa que una ecuación que describe la forma en que una partícula cambia al paso del tiempo.

También es conocido por su *gedankenexperiment* (experimentos imaginarios) del gato que esta vivo-muerto: el Gato de Schrödinger. Este describe el estado de superposición de las partículas y el llamado colapso de estado.

⁴⁴ SABADELL Miguel Ángel, *Universo Cuántico, un mundo de locos...* 16.

“un gato es encerrado en una caja con un dispositivo que, si se dispara, matará al animal. El disparador es un contador electrónico, activado por el decaimiento de un núcleo radiactivo. Transcurrido un lapso igual a la vida media del núcleo, la probabilidad de que éste haya decaído es igual a la probabilidad de que no haya decaído aún. Si aceptamos que el sistema puede ser descrito en términos cuánticos, esto significa que la función de onda que se refiere al estado del gato (que es un estado puro) es una combinación lineal de gato vivo y gato muerto, con coeficientes que corresponden respectivamente a núcleo entero y núcleo decaído. Por lo tanto, si consideramos –como lo hace la escuela ortodoxa- que ψ describe a ese gato en lo individual, resulta que el animal está en un curioso estado de “medio vivo + medio muerto”. Más aún: al abrir la coja con el solo fin de observar la situación, provocamos una transición de este estado abiológico a un estado más natural, que puede ser “vivo” o “muerto”, según las circunstancias; éste es el llamado colapso de la función de onda”⁴⁵.

Aparentemente esto no implica mayor problema, simplemente se puede decir que el gato tiene un estado real pero que no se conoce ‘aún’. Pero llevado al mundo microscópico tiene otras consecuencias que distancian de ser resueltas. De acuerdo con el formalismo de la física cuántica, es decir, de su descripción correcta del movimiento de las partículas y sus respectivas interacciones, el resultado, de acuerdo a la función de onda, es una *superposición* de los estados ‘vivo-muerto’. Lo que definirá el paso de la superposición a un estado concreto y definido es el proceso de medición, o sea, la observación. Aquí radica el problema ya que no se puede decir que significa esto.

Siguiendo la interpretación de la escuela de Copenhague, en el momento que se da la observación, la sola acción modifica el estado del sistema tal que se adopta un estado completamente definido y el gato está vivo o muerto. El colapso

⁴⁵ JIMENEZ Roberto, *Schrödinger: Creador de la mecánica ondulatoria*, FCE, México 2003, 69.

del estado adquiere un carácter de realidad física pero sin una justificación completa.

Por otro lado, considerando la propuesta de Everett, al observar hay una ramificación temporal de la función de onda y el gato está vivo y muerto a la vez pero está vivo en un mundo y muerto en otro; los dos estados connotan realidad pero no interactúan entre sí.

Otra interpretación indica que la superposición desaparece aunque no haya observador o medición; entonces la función de onda y el colapso son reales en el sentido ontológico, existen en sí. Pero de acuerdo con otra propuesta, esto no es así, en cambio presenta al estado del sistema como una relación entre ésta y el observador; es decir, tomando en cuenta el ejemplo, el gato ya tiene información terminado el experimento, pero el que lo ha realizado todavía no. Entonces para el gato la superposición ya adoptó un estado concreto pero para el experimentador no. Hasta que el experimentador observa el resultado, ambos, el gato y él, tienen ya la misma información del colapso del sistema.

Todo esto puede ser abarcado por dos posturas. La primera confiere la producción del colapso del sistema a la acción de observar; si la conciencia es la que produce el colapso, se acepta que antes de observar el resultado, había en el gato un estado de vivo-muerto y solamente en el momento en que se toma conciencia se decide por un estado. Esto llevó a creer que la conciencia es la que crea la realidad como resultado de lo que observa. La segunda postura implica que el observador conoce un estado preexistente a su observación, que no produce su realidad sino que carece de información acerca de ésta. En otras palabras, que la física cuántica no es completa⁴⁶.

⁴⁶ Cfr. DE LA TORRE Alberto Clemente, *Física Cuántica para Filo-sofos...* 97.

Toda esta controversia que parecería sencilla, llevó a Hawking, uno de los físicos contemporáneos más destacados, a expresar: “Cada vez que pienso en ese gato, tomo mi revolver [...]”⁴⁷.

3.3 La concepción de Einstein sobre la física cuántica

Es importante considerar el papel que jugó Albert Einstein en la formación de la teoría de los cuantos, aunque es más conocido por la Teoría de la Relatividad. Su papel quedó consolidado no sólo por el aporte de la descripción del efecto fotoeléctrico sino por la postura que asumió ante la naciente teoría cuántica la cual no fue aprobatoria ante todos los postulados. Entre estos el entrelazamiento cuántico (que con la medición se afecta a dos partículas enlazadas pero distantes) o el hecho de que una partícula pueda ocupar varios espacios a la vez.

La postura de Einstein se ha resumido (y en muchos casos, reducido) en su famosa frase “Dios no juega a los dados”. ¿Qué es lo que quiso decir con esto? Con esto, Einstein adopta una postura contraria a las ideas de Bohr y Heisenberg. Niega un positivismo radical y en su lugar, se decide por un realismo. No concibe un universo en el que reina la incerteza, la creación de la realidad como consecuencia de la sola observación ni tampoco ver el caos, el desorden como la estructura ínfima de una naturaleza rigurosamente ordenada. Pero Einstein no consideró ni contempló todo el alcance de esta teoría. En ciertos momentos se le criticó como una persona de mente cerrada y de poca visión ante lo que tenía.

“En una ocasión Ehrenfest le dijo a Einstein: estoy avergonzado de ti Einstein. Te has puesto aquí en la misma posición que tus oponentes en sus vanos intentos de refutar la teoría de la relatividad”⁴⁸.

⁴⁷ Cfr. SABADELL Miguel Ángel, *Universo Cuántico, un mundo de locos...* 16.

⁴⁸ GARCIA –COLIN S. Leopoldo, *Niels Bohr: científico, filósofo, humanista*, FCE, México, 2003, p. 107.

Fue precisamente esto lo que para muchos, era la manifestación de una batalla campal entre grandes intelectos. La interpretación de Copenhague comandados por Bohr fue la piedra en el zapato para Einstein. Aunque los desacuerdos fueron constantes, sería hasta en el Sexto Congreso Solvay, donde alcanzaría su máximo esplendor esta lucha entre Einstein y Bohr.

3.3.1 El debate entre Einstein y Bohr. El argumento de EPR

Año 1930, varios físicos se habían congregado para tratar temas de magnetismo y, aunque no se dijo explícitamente, la naciente teoría cuántica sería otro tema de discusión. Cita que se llevó a cabo en Bruselas: era el Sexto Congreso Solvay.

Einstein, durante el congreso, trató de demostrar con un *gedankenexperiment*, que se podía violar uno de los pilares de la teoría cuántica: el Principio de Incerteza:

“La versión del principio de incerteza que Einstein atacó era la relación tiempo-energía: la energía de un sistema cuántico que ha sido preparado en un proceso de duración ΔT , debe ser imprecisa en una cantidad ΔE , relacionadas ambas por: $\Delta E \cdot \Delta T \geq \hbar$. El sistema cuántico que ideó Einstein consiste en un fotón que dejamos escapar de una caja por un obturador abierto durante el tiempo ΔT , que podemos hacer tan pequeño como deseemos, al ser éste accionado por un reloj (suizo) de precisión infinita, que se encuentra dentro de una caja. El principio de incertidumbre nos prohíbe una determinación de la energía del fotón con precisión ΔE arbitrariamente pequeña. Sin embargo, Einstein propuso que esto debería ser posible pesando con toda tranquilidad, o sea, con infinita precisión, la caja antes y después de que el fotón escape. La diferencia de la masa de la

caja nos da, con precisión tan grande como queramos, la energía del fotón, usando la relación $E= mc^2$ ⁴⁹.

No fue una idea fortuita que Einstein quisiera atacar el Principio de Incerteza; él sabía que de ser derrumbado, la teoría cuántica tendría que ser reestructurada o cambiada esencialmente. El hecho de que hoy se siga hablado de esta teoría, es lo primero que indica que Einstein no pudo lograrlo: Bohr encontró cómo refutar el experimento imaginario de Einstein.

Haciendo uso de la misma Teoría de la Relatividad General de Einstein, Bohr demostró a Einstein que se equivocaba. Después de una noche sin dormir, Bohr le recordó a Einstein que no podía realizarse dicho experimento con los resultados que planteaba:

“Bohr le recordó a Einstein que, según un intervalo de tiempo, medido por un reloj que se ha desplazado en un campo gravitatorio, es modificado como lo indica un famoso resultado conocido con el nombre de “corrimiento al rojo. El reloj que controla al obturador sufre dicho desplazamiento al moverse la caja de fotones”⁵⁰.

Muchos ven en este hecho la derrota parcial y, para algunos, total de Einstein:

“A partir de ese momento, ya no intentó demostrar que la mecánica cuántica era inconsistente o incorrecta, sino que se dedicó a demostrar que era incompleta, lo que significa que la teoría no contiene todas las características del sistema cuántico, que existen en la realidad algunos elementos que aquella no ha formalizado. La mecánica cuántica sería verdad, pero no toda la verdad y se podrían aceptar las probabilidades,

⁴⁹ DE LA TORRE Alberto Clemente, *Física Cuántica para Filo-sofos...* 100.

⁵⁰ *Ibíd*em 101.

incertidumbres, indeterminismos y acausalidades como las consecuencias de la falta de completitud de la teoría”⁵¹.

Tras esta situación, en 1935, Einstein publica junto con Podolsky y Rosen un trabajo titulado “Can Quantum Mechanical Description of Physical Reality be Considered Complete?” (“¿Puede ser considerada completa la descripción que la mecánica cuántica hace de la realidad?”)⁵². Esta propuesta es lo que se conoce como “paradoja de EPR” (Einstein, Podolsky y Rosen).

No obstante recibe el nombre ‘paradoja’ se convierte más en una crítica. Einstein junto con Rosen y Podolsky tratan de demostrar que la teoría cuántica es incompleta y que no puede hacer una descripción completa de la realidad. Aunque la paradoja EPR contiene un lenguaje difícil de entender se puede retomar lo más esencial para este caso. La paradoja critica dos conceptos cruciales: la acción a distancia mejor conocida como la no-localidad y el problema de medición que ya se ha citado.

La no-localidad permite obtener información de manera instantánea de dos o más partículas que se encuentren entrelazadas y a distancia midiendo sólo una de ellas. De la misma manera modificar los patrones de una nos indican, dentro de la teoría cuántica, la modificación de la otra(s). De acuerdo al formalismo de la mecánica cuántica si se mide la posición de una sabe cual es la posición de la otra, lo mismo pasa si mide el momento. Sin embargo, los resultados son probabilísticos, o sea, no deterministas. Lo que en última instancia indica que la mecánica cuántica no es completa.

⁵¹ DE LA TORRE Alberto Clemente, *Física Cuántica para Filo-sofos...* 101.

⁵² Cfr. *Ibidem* 102.

3.3.2 Las variables ocultas y Las desigualdades de Bell

Como respuesta a la paradoja de EPR surgieron algunas propuestas. La primera fue de David Bohm, con la idea de 'variables ocultas', esto es, de la existencia de algunas propiedades desconocidas que son las que le dan el carácter probabilístico a la mecánica cuántica:

“En 1952, David Bohm, publicó la primera teoría alternativa consistente de la mecánica cuántica basada en el enfoque de “variables ocultas”, aunque estos factores no eran estrictamente los mismos que las variables clásicas. Se podría asumir que tal vez se encontraran en un nivel subnuclear, aunque su propiedad inherentemente “no-local” las hace poco comunes”⁵³.

Bohm siguiendo la propuesta de EPR expresa que la teoría cuántica no solamente es una teoría incompleta sino que conlleva una no separabilidad pues el hecho de que se adquiriera la propiedad de 'no-local' en el sistema cuántico trae consigo la no-separabilidad. Y gracias a Bohm se iniciaron las primeras pruebas en laboratorios y ya no con experimentos mentales como los siguió haciendo EPR. A estas pruebas experimentales se apegaría Bell para continuar con las investigaciones

En 1964, John Bell, propone una formulación matemática para probar la paradoja de EPR. Tomando en cuenta la crítica de esta última, Bell, para hacer su experimento, hace el supuesto de que la medición cuántica se da de forma determinista y local. Esto lleva a que si Einstein tenía razón, las desigualdades de Bell son ciertas y la teoría cuántica es incompleta. Si la teoría cuántica es completa, estas desigualdades serán violadas. La comprobación de las desigualdades de Bell, explica Alberto Clemente, no sólo conducen a la respuesta experimental sino a la validez de un postulado filosófico:

⁵³ RUSSEL Robert J, *Física, filosofía y teología, una búsqueda en común...* 401.

“El experimento ha sido hecho y repetido con diferentes arreglos, por diferentes físicos y en diferentes lugares. Los resultados son claros y concluyentes: la desigualdad de Bell es violada. Necesariamente debemos abandonar el realismo como base filosófica, ¡o debemos aceptar que la realidad tiene la asombrosa característica de ser no-separable en ciertos casos!”⁵⁴.

Esto deja de manifiesto que el papel de la filosofía es crucial en este tema. Pues como se dejaba entrever anteriormente, se abre paso al postulado filosófico cuya labor no puede pasar por alto ante los retos que propone en su formalismo la mecánica cuántica. Ya no sólo la terminología que se utiliza esta teñida de ideas filosóficas sino las mismas interpretaciones conducen a una intervención directa de la especulación filosófica.

⁵⁴ DE LA TORRE Alberto Clemente, *Física Cuántica para Filo-sofos...* 122.

CAPITULO IV. La filosofía ante el mundo cuántico

Cuando se inician los estudios que se adentran a esta parte de la física la mayoría pide que se deje a un lado la intuición diaria y que se adquiera una disposición a encontrarse con toda clase de situaciones contrarias al sentido común. Ciertamente esta petición que se hace no es en vano sino que en realidad, cuando alguien se introduce en el mundo subatómico puede constatar que éste, no se comporta de la misma manera que el mundo al que está habituado. Las leyes que rigen al mundo macroscópico se ven sumamente afectadas y por tanto no se pueden estudiar de la misma manera.

Esta es una situación con la que se encontraron los pioneros de la mecánica cuántica. Una situación extremadamente difícil. En muchos momentos ellos mismos no lograron vislumbrar que rumbo debían tomar frente a los resultados experimentales y más aún, aunque sabían que no estaban equivocados en sus formulaciones, no sabían que significaban. Pero mientras desarrollaron sus estudios no pudieron escapar a darles una interpretación; se aventuraron a decir lo que implicaba en la realidad o incluso a crear su propia realidad. Actualmente tenemos una teoría cuántica que sigue, después de poco más de un siglo de su nacimiento, carente de una interpretación universal. Los resultados son inefables pero se desconoce su valor en la realidad y lo que significan del todo.

La última parte del capítulo anterior mostró las más importantes interpretaciones que se dieron por parte de los físicos ante lo que estudiaban. Pero ¿qué implicaciones filosóficas tienen? Definitivamente no son las mismas que la mecánica clásica había mantenido desde hace un buen tiempo. Ahora estas interpretaciones, aunque no puedan encasillarse en su totalidad, pueden anclarse bien en dos vertientes principalmente; una parte conduce a una postura positivista y otra a una postura realista.

La filosofía tiene ahora la tarea de asumir parte de este debate pues las implicaciones que encierra la física de partículas, en su formalismo y su

interpretación, atañen a su campo y no pueden ser ajenas a ella. Las dos posturas conllevan problemas ontológicos y epistemológicos que en sus extremos puede conducir a una visión incompleta de la física cuántica pero que sostiene a una realidad determinada y objetiva o a una visión positivista de la realidad, negando, en su mayor parte, una Causa Primera y dejando al mundo como resultado de puras leyes físicas. En este caso es difícil mantenerse escéptico o anular el juicio puesto que el formalismo que va construyendo la física lleva necesariamente a una conclusión, no se permite escapar de sus implicaciones; se verá cómo al tomar una se excluye la otra y viceversa. Este capítulo trata de exponer cómo surgen ambas posturas y qué argumentan cada una, para finalmente hacer una valoración de éstas y de sus consecuencias.

4.1 ¿Qué implican las interpretaciones de la Teoría Cuántica?

El camino ya recorrido muestra que la esencia de la teoría cuántica radica precisamente en que es una teoría netamente probabilística y en que hay una interdependencia entre los observables. Estas propiedades esenciales son las que arrojaron las diferentes interpretaciones y, por tanto, también pueden ayudar a esclarecer las implicaciones de cada una.

Estas dos propiedades que caracterizan la mecánica cuántica son las que, tratando de darles una significación dieron cuerpo a la interpretación de Copenhague y a su contraposición, la interpretación de Einstein. Ambas interpretaciones desembocan a una postura positivista en el caso de Bohr y la escuela de Copenhague y a una postura realista en la visión de Einstein junto con Podolsky y Rosen en su argumento, incluso Schrödinger se opondría a la visión de Bohr.

Tanto Bohr como Einstein y sus respectivos seguidores, tomaron sus estudios como la base para interpretar lo que era el universo; una respuesta que

sigue buscando la física en la teoría M o teoría del todo, tratando de dar una explicación unificada del universo. Hasta ahora no se tiene la suficiente prueba experimental para definirse entre las dos posturas por eso dice Michael Brooks respecto a la Teoría M y a la esencia misma de la física:

“por el momento, estamos lejos de conseguir ese objetivo, pero aquí, quizá, hemos encontrado la verdadera finalidad y la esencia de la física: descubrir la magnitud de nuestra ignorancia, y hacer lo que podamos para reducirla. A veces, como ocurrió con la bomba atómica, hay que pagar un precio por este viaje de descubrimientos. A veces, como con el desarrollo de la mecánica cuántica, obtenemos unas enormes recompensas prácticas de ellos. Pero la mayor parte del tiempo, nos dirán los físicos, la física trata simplemente de la emoción del descubrimiento; y después, descubrir que nuestros descubrimientos han hecho que el mundo sea más interesante, no menos”⁵⁵.

Brooks toma una postura aparentemente dócil ante la gran complejidad del universo, distinta a la ambiciosa persecución de una teoría del todo. Pero igual es una teoría que puede llevarse por una de las dos posturas ya mencionadas y que ahora se analizan.

4.1.1 La postura positivista

El positivismo es una corriente filosófica acunada por el gran avance científico del siglo XIX cuyos criterios de verdad se basan en el éxito de las ciencias exactas. El filósofo Comte propuso depurar de toda clase de metafísica a la filosofía, es decir, de todo aquello que no pudiese ser comprobado experimentalmente o como

⁵⁵ BROOKS Michael, *Grandes Cuestiones Física*, Ariel, Barcelona, 2011,16.

deducción lógica a partir de los datos sensoriales. A esta corriente se unió el 'círculo de Viena'.⁵⁶

Retomando las aportaciones que hizo Bohr se puede entender lo que concluyó de ellas y la postura positivista que tomó al respecto. Mediante el principio de complementariedad, Bohr decía que se debía tener una visión onda-corpúsculo de la materia, esto quiere decir que para la descripción completa de los fenómenos observables, es necesario tener en cuenta una concepción y otra, pero nunca se les puede aplicar simultáneamente de manera completa a la descripción de la realidad, entonces se da un carácter complementario. Un carácter que no podía ser descrito por los conceptos clásicos aunque esos conceptos sí podían usarse respecto a los aparatos experimentales que siguen siendo los aparatos clásicos. Por tal motivo propone que hay que limitarse a hacer frases sobre los aparatos experimentales con que se observa el sistema cuántico. Estas frases, debido a las interacciones inevitables entre el aparato y el sistema, no se refieren al sistema individualmente sino que se aplica al conjunto aparato-sistema y aunque se complementan, se excluyen⁵⁷. Lo que Bohr concluyó fue:

“...es falso creer que la meta de la física es descubrir cómo es la naturaleza, pues en verdad, sólo se ocupa de lo que podemos decir acerca de ésta, dudando así de que la realidad de la naturaleza sea conocible. La palabra 'realidad', dice Bohr, es una palabra que hay que aprender a usar correctamente. La descripción de la naturaleza que hace la física no es, para Bohr, un reconocimiento de la realidad del fenómeno, sino una descripción de las relaciones entre diferentes aspectos de nuestra experiencia. Heisenberg afirma, extremando el pensamiento de Bohr, que la meta única de la física es predecir los resultados experimentales excluyendo del lenguaje toda mención de realidad”⁵⁸.

Esta fue la idea que siguió el instituto de Copenhague:

⁵⁶ DE LA TORRE Alberto Clemente, *Física Cuántica para Filo-sofos...* 50.

⁵⁷ Cfr. *Ibidem* 114.

⁵⁸ *Ibidem* 115.

“Al limitarse a relacionar resultados experimentales y predicciones sin pretender interpretar la realidad, la interpretación de Copenhague no enfrenta los problemas mencionados con la medición ni los relacionados con las interpretaciones ontológicas o gnoseológicas de las probabilidades, de allí su enorme éxito. En ella, la mecánica cuántica es completa, no tiene sentido hablar de separabilidad ni de los elementos de la realidad física. El principio de complementariedad, cuya manifestación en el formalismo se encuentra en el principio de incerteza, salva toda dificultad”⁵⁹.

El principio de incerteza mencionado, conlleva una imposibilidad para conocer con exactitud lo que se mide pues el hecho mismo afecta lo que se está midiendo, Heisenberg le dio a esto un carácter esencial, dejando claro que la materia tiene un carácter esencialmente indeterminado. Esta indeterminación fue llevada como una indeterminación objetiva en el cosmos:

“...se afirma que la física cuántica invalida el principio de causalidad e incluso la noción misma de una realidad objetiva independiente. Werner Heisenberg escribió: ‘Puesto que todos los experimentos están sometidos a las leyes de la mecánica cuántica y por tanto a las relaciones de indeterminación, resulta que la invalidez de la ley causal queda definitivamente constatada por la mecánica cuántica’. Y Niels Bohr, en la misma línea, afirmó que: ‘...incluso términos como *ser* y *conocer* pierden significado no ambiguo [...] no puede describirse una realidad independiente en el sentido físico ordinario ni a los fenómenos ni a los agentes de observación’. Parecería, pues, que la física exige prescindir de conceptos básicos del sentido común, y que estos conceptos no pueden ser utilizados para valorar las ideas de la física.”⁶⁰

Tal principio, junto con la ecuación de onda de Schrödinger, da a la teoría cuántica el valor probabilístico, distinto a la física clásica que daba resultados

⁵⁹ DE LA TORRE Alberto Clemente, *Física Cuántica para Filo-sofos...* 116.

⁶⁰ ARTIGAS Mariano, *Filosofía de la Ciencia*, EUNSA, España, 2006, 267.

determinados. Está es una propiedad esencial de la física de partículas, por ello, Einstein trató, sin éxito, de derrumbar en su debate con Bohr.

“La teoría cuántica, le dijo repetidamente –Bohr- a Einstein, se basa en la aleatoriedad. Algunos efectos no tienen causa. ‘Einstein, deja de decirle a Dios que hacer con sus dados’, le dijo”⁶¹

Esa aleatoriedad de la que habla Bohr está descrita en la ecuación de onda de Schrödinger, como se mencionaba antes, y dicha ecuación asigna a objetos cuánticos las propiedades de una onda, siguiendo la complementariedad. Al estudiar el mundo microscópico se hace uso de la ecuación pero no se obtiene datos exactos sino probabilísticos:

“Los resultados de experimentos cuánticos, según la interpretación ortodoxa de la teoría cuántica, se reducía a puro azar. El rechazo de Einstein a aceptar esto tiene mucho que ver con la profundidad de sus implicaciones. La teoría cuántica describe el mundo a la escala de sus partículas más fundamentales. Si los procesos cuánticos son aleatorios, entonces *todo* es, en último termino, aleatorio.”⁶²

Todos estos sucesos ‘extraños’ que podían mirarse en la física cuántica dejaban de serlo si se afirmaba que nada existe hasta que se mide o se observa, esto significa, que nada posee propiedades o existencia alguna hasta que es observado de alguna manera y aunque no pareciera raro, los experimentos sugieren que pueda ser de tal forma⁶³, como sucedía con el ‘gato vivo-muerto de Schrödinger’.

Las desigualdades de Bell comprueban experimentalmente que el hecho de observar puede cambiar la realidad. Schrödinger descubrió también que las

⁶¹ BROOKS Michael, *Grandes Cuestiones Física...* 73.

⁶² *Ibidem* 74.

⁶³ Cfr. *Ibidem* 124.

partículas al encontrarse no podían ser descritas individualmente sino que tenían que pues la información que da una corresponde igualmente a la otra partícula, esto sin importar que estuvieran distantes una de la otra. A esto le llamó enmarañamiento o entrelazamiento cuántico. Esto fue otra de las cosas que Einstein negó describiéndola como una ‘acción fantasmal a distancia’, pero que en 1964 fue comprobado experimentalmente:

“El enmarañamiento es, realmente, una acción fantasmal a distancia, acción que niega la existencia objetiva de cualquier cosa. Los electrones de Bell sólo adoptan sus propiedades cuando se realiza una medición, es decir, cuando alguien las observa”⁶⁴.

¿Esto quiere decir que nosotros creamos la realidad? ¿Quiere decir que el mundo no existe objetivamente? De acuerdo con esta corriente, que ahora adquiere el carácter filosófico, sí. Así lo han demostrado las formulaciones anteriores, incluso actualmente en el universo ‘participativo’ que propone Wheeler es el observador quien cambia la naturaleza cuántica de la historia cósmica, incluso desde sus inicios⁶⁵.

Si bien esto ya ha llegado a mucho no es lo último. Stephen Hawking, cosmólogo de la Universidad de Cambridge y mundialmente reconocido, lleva hasta sus extremos, ya insinuado por sus antecesores, a esta postura. Hawking considera que el mundo cuántico, por su carácter de estudio de lo elemental, permite la aproximación a toda la historia del universo, desde sus orígenes hasta el día de hoy. Llama a esto “cosmología de arriba abajo”, con la cual, según él, se puede resolver no sólo que pasó en el Big Bang sino también que había antes⁶⁶.

Hawking abre paso a la propuesta de los ‘historias posibles’ hecha por Feynman:

⁶⁴ BROOKS Michael, *Grandes Cuestiones Física...* 122

⁶⁵ Cfr. *Ibidem* 129.

⁶⁶ *Ibidem* 130.

“Hawking admite que es una idea extraña, pero sólo parece serlo porque estamos dentro del universo en cuestión, dice. Alguien que observara desde fuera del universo no vería nada raro, en opinión de Hawking. Y un tal observador podría ver como el universo se formaba a partir de la nada. Esto es posible porque las historias múltiples de Feynman (y, por tanto, los cálculos de Hawking) se basan en un concepto de “tiempo imaginario”... los ingenieros utilizan de forma rutinaria números compuestos de componentes reales e imaginarios para describir y predecir el comportamiento de circuitos eléctricos.

En la cosmología de arriba debajo de Hawking, las historias múltiples del universo, calculadas utilizando el tiempo imaginario, cambian el tiempo normal en una dimensión espacial. El resultado de ello es que el problemático ‘inicio’ del universo desaparece. Previamente, cuando la energía del universo estaba concentrada en el más diminuto de los volúmenes, todo funcionaba según las reglas cuánticas, y lo que ahora llamamos tiempo era en realidad una dimensión espacial”⁶⁷.

Y finalmente Hawking dice que el Bing Bang no fue el principio de todo sino el resultado de procesos que tuvieron dichas dimensiones. Entonces el modo en que se originó el universo estuvo totalmente determinado por las leyes de la ciencia.⁶⁸ Hawking llega a una negación de la causalidad y en última instancia de una ‘Causa’, consecuencia que ya se podía adivinar al introducir la probabilidad y la propiedad de aleatorio a los sistemas elementales:

“En el numero de *Der Spiegel* de 17 de octubre de 1988, Hawking escribe: ‘Lo que he mostrado es que es posible que el modo en que comenzó el universo estuviera determinado por las leyes de la ciencia. En este caso, no

⁶⁷ BROOKS Michael, *Grandes Cuestiones Física...* 131-132

⁶⁸ Cfr. PICKOVER Clifford A., *De Arquímedes a Hawking, Las leyes de la ciencia y sus descubridores*, Critica, Barcelona, 2011, 634.

es necesario apelar a Dios para decir cómo comenzó el universo. Esto no quiere decir que Dios no exista, sólo que no es necesario”⁶⁹.

Este pensamiento es el que Hawking mantiene en su obra “El Gran Diseño” junto con Leonard Mlodinow. En esta obra trata de dar respuesta a grandes temas de la física que cuyo planteamiento es con un enorme tinte filosófico. Se hace preguntas como ¿por qué hay algo en lugar de nada? ¿Por qué existimos?, etcétera. En “El Gran Diseño” dice:

“[...] de la misma manera que las coincidencias ambientales de nuestro sistema solar fueron convertidas en irrelevantes al darnos cuenta de que existen miles de millones de sistemas planetarios, los ajustes finos en las leyes de la naturaleza pueden ser explicados por la existencia de miles de millones de universos. Mucha gente a lo largo de los siglos ha atribuido a Dios la belleza y la complejidad de la naturaleza que, en su tiempo, parecían no tener explicación científica. Pero así como Darwin y Wallace explicaron cómo el diseño aparentemente milagroso de las formas vivas podía aparecer sin la intervención de un Ser Supremo, el concepto de multiuniverso puede explicar el ajuste fino de las leyes físicas sin necesidad de un Creador benévolo que hiciera el universo para nuestro provecho”⁷⁰.

Y más adelante afirma:

“La creación espontánea es la razón por la cual existe el universo. No hace falta invocar a Dios para encender las ecuaciones y poner el universo en marcha. Por eso hay algo en lugar de nada, por eso existimos”⁷¹.

Y finaliza su escrito, con estas palabras, refiriéndose a la “Teoría M”:

⁶⁹ PICKOVER Clifford A., De Arquímedes a Hawking, *Las leyes de la ciencia y sus descubridores...* 635.

⁷⁰ HAWKING Stephen, *El Gran Diseño*, Critica, Barcelona, 2011, 186-187.

⁷¹ *Ibídem* 203-204.

“Si la teoría es confirmada por la observación, será la culminación de una búsqueda que se remonta a más de tres mil años. Habremos hallado el Gran Diseño”⁷².

Es así como la postura positivista se mantiene, afirmando que no hay una realidad objetiva sino que el hecho de observarla la modifica y en algunos casos la crea. Para finalmente concluir que la propiedad probabilística, el carácter aleatorio de la física cuántica, somete a la naturaleza a una formulación de leyes pero sin un Principio de Causalidad, sin un Ser Supremo, del cual el universo encuentre su origen. Fred Heeren, en su obra *¿Se puede probar que Dios existe?*, dice:

“Con todo muchos de los físicos de hoy buscan explicar de algún modo la conducta del universo y quizá incluso su existencia en términos de una función de onda de la mecánica cuántica. Algunos conjeturan que si el comportamiento de un electrón se puede describir como una onda de posibilidades (función de onda), la cual no se puede fijar hasta que llega un observador, quizá las condiciones iniciales de todo el universo se pueden tratar como una función onda. A lo mejor todo el universo no tenía una conducta particular –o según la interpretación de Copenhague, no tenía ninguna existencia- hasta que fue observado, pero ¿quién estaba fuera del universo para observarlo? ¿no empieza a sonar a algo así como a un Dios trascendente? Los muchos físicos que han intentado aplicar la mecánica cuántica al universo entero ¡se ven devueltos a la explicación sobre natural que trataron de evitar!”⁷³.

⁷² HAWKING Stephen, *El Gran Diseño*, Critica, Barcelona, 2011, 204.

⁷³ HEEREN Fred, *¿Se puede probar que Dios existe?*, *Las respuestas que los astrónomos han encontrado en el universo*, Grijalbo, México, 1997, 253-254

4.1.2 La postura realista

La postura realista se contrapone a la postura positivista, de la cual se han analizado algunos postulados y sobretodo, sus consecuencias. En la actualidad parece que el positivismo gana terreno, principalmente cuando las experimentaciones refutaron la argumentación de EPR, hablando de la mecánica cuántica concretamente. El positivismo, que renuncia al conocimiento de causas, se adapta muy bien, para muchos científicos, al mundo microscópico y posteriormente al macrocosmos. La consecuencia fue que, tras la revolución científica del S. XX, los herederos del positivismo, los neopositivistas, tomarían una actitud anti-metafísica y anti-teológica como la 'nueva concepción científica del nuevo mundo'⁷⁴.

La cuestión radica en la veracidad de estas afirmaciones. ¿Será que el realismo ya no tiene cabida en esta época? ¿Tiene sustento firme ante la ciencia actual y la descripción de la naturaleza? Como se ha mencionado anteriormente, no hay la prueba científica definitiva para aceptar el positivismo y tampoco la hay para negar el realismo, por ello el debate sigue abierto, aunque la balanza parezca inclinada a la postura positivista.

Mariano Artigas dice respecto al realismo:

“El realismo afirma la existencia real de las entidades, las propiedades y los procesos, tal como son afirmados por las teorías científicas. Los realistas afirman que el *éxito predictivo* de la ciencia experimental sería un autentico milagro si no se admite que, de algún modo, la ciencia proporciona un conocimiento verdadero de la realidad.”⁷⁵

⁷⁴ ARTIGAS Mariano, *Filosofía de la Ciencia...* 77.

⁷⁵ *Ibídem* 99.

Si el carácter positivista de la mecánica cuántica, dado por Bohr y compañía, lleva a la indeterminación y la negación de la causalidad, la postura realista conduce a lo determinado y a la causalidad. Propiedades que Einstein siguió, dando a la ciencia cuántica el carácter de incompleta.

Einstein, junto con otros físicos como Schrödinger, vio absurdo que la mecánica cuántica fuera el sustento científico para aceptar la indeterminación y la acausalidad. La crítica que se hace a la escuela de Copenhague es que da un carácter absoluto al principio de incertidumbre:

“Los científicos actuales que tratan de restaurar la causalidad en física, acostumbran a destacar que, además de elevar de manera ilícita al nivel de ley absoluta el principio de Heisenberg –de validez restringida al llamado ‘dominio cuántico’- los adeptos a la escuela de Copenhague también cometen un error al considerar la mecánica científica por ellos formulada como el estadio final del conocimiento científico.”⁷⁶

La posición anti-Copenhague se fundamenta en dos cosas: la primera es que siguen considerando a las partículas como independientes al observador, aunque admitiendo la perturbación de su estado ante la observación; la segunda es la afirmación de que la teoría cuántica no está ‘completa’, de ahí que los resultados sean probabilísticos y no exactos, por tanto no puede aplicar los resultados obtenidos en el nivel microscópico a los demás niveles.⁷⁷

Para muchos, otra demostración fehaciente de que la teoría cuántica no está completa, a parte de la propiedad probabilística, es que no ha podido explicar todos los fenómenos que le competen, tal como se evidenciaba en el modelo estándar, el cual no incorpora la fuerza de gravedad en su formalismo y aunque hay teorías que pueden ser las candidatas para la explicación completa del comportamiento del mundo microscópico (como la teoría de cuerdas o la teoría M) siguen sin poder probarse de manera experimental. Aunque intelectuales como

⁷⁶ HEGENBERG Leónidas, *Introducción a la filosofía de la ciencia*, Herder, Barcelona, 1969, 154.

⁷⁷ Cfr. *Ibidem* 154.

Hawking han dado a conocer los resultados de sus investigaciones como definitivos y concluyentes, favoreciendo el positivismo e incluso un ateísmo teórico.

El realismo ante el principio de incertidumbre, uno de los pilares de la mecánica cuántica, no niega su formalismo pero sí su interpretación:

“Si tal vez una gran ley de la naturaleza nos impide determinar simultáneamente la posición y velocidad del corpúsculo con exactitud y, por lo tanto, no podemos conocer con exactitud la posición y los estados de movimiento futuros del corpúsculo, esto, sin embargo, no demuestra que realmente el corpúsculo no tenga en cada instante una posición y una posición bien definida. La indeterminación es cognoscitiva –por eso algunos la denominaban incertidumbre-, de allí a que se concluyera que existe una indeterminación real, objetiva, se da un paso más lejos de lo que permite la experiencia y no se justifica con prueba alguna.”⁷⁸

La indeterminación que hay, de acuerdo con los realistas no es ontológica sino epistemológica. Porque no es que la partícula no tenga una posición y momento precisos sino que no se es capaz de conocer, ya que la teoría no es completa y no puede calcular con exactitud dichos valores, por esta razón se da el carácter probabilístico. Algunos científicos afirmaron que, después de un tiempo, cuando se tuviesen las herramientas necesarias, desaparecería la indeterminación la cual es causada por variables ocultas, como afirmaba Einstein y el determinismo que se había perdido, resurgiría como propiedad esencial de los sistemas físicos; cosa que no sucedió ya que Von Neumann, en 1932, demostró que la indeterminación no es eliminable en la realidad física, tal vez podría reducirse pero no eliminarse.⁷⁹ Pero posteriormente D. Bohm, desarrolló una teoría con variables ocultas que conduce a las mismas predicciones de la

⁷⁸ SERRANO A. Jorge, *Filosofía de la Ciencia...* 107.

⁷⁹ L.C. Rafael Pascual, *Filosofía del mundo físico*, Tomo II, Ristampa, Roma, 1994, 165.

mecánica cuántica, comprobando con esto que es posible hablar de una teoría con variables ocultas pero con la consecuencia de aceptar la no-separabilidad:

“Necesariamente debemos abandonar el realismo como base filosófica, ¡o debemos aceptar que la realidad tiene la asombrosa característica de ser no-separable en ciertos casos!... por las consecuencias subjetivistas y aun solipsistas que implica, el abandono del realismo es inaceptable para muchos físicos y filósofos. Queda, entonces, como ultima alternativa, el abandono de la separabilidad irrestricta en la realidad física, alternativa que podemos calificar como asombrosa pero necesaria, si deseamos ser filosóficamente realistas”⁸⁰.

Pero ¿qué implicaciones trae consigo aceptar una realidad no-separable?
Alberto Clemente dice:

“La no separabilidad es justamente una manifestación de dicha dependencia entre observables, cuando éstos corresponden a cualidades distantes del sistema. Implica, entonces, cierta forma de acción instantánea a distancia, porque la medición o modificación en una parte del sistema, cuando éste se encuentra en un estado no-separable, inmediatamente debe propagarse a todo el sistema”⁸¹.

Siendo así, se puede suponer una causa que actúe con continuidad en el espacio y que sea al fundamento ontológico de la acción a distancia, de esta manera se conservar el realismo.

La postura realista mantiene el principio de causalidad porque, a pesar de que el indeterminismo cuántico excluye el paso del conocimiento de la causa al conocimiento del efecto, propio del determinismo, no excluye el paso del

⁸⁰ DE LA TORRE Alberto Clemente, *Física Cuántica para Filo-sofos...* 122.

⁸¹ *Ibíd*em 124.

conocimiento del efecto a la afirmación de la causa, exigencia del principio de causalidad⁸².

Y el indeterminismo que se da en la física de partículas tampoco tiene un valor absoluto. Recuérdese que anteriormente se mencionaba que la mecánica cuántica era una teoría que podía presumirse por un formalismo como ningún otro en la física, y esto era porque pese a su carácter probabilístico, las predicciones eran acertadas. Si bien el principio de incerteza no puede precisar la posición y el momento, sí puede medir una de las dos con exactitud; la misma función de probabilidad es fija, determinada, aunque las predicciones sean estadísticas. Por tanto las leyes naturales, incluyendo las estadísticas, indican un determinismo fundamental, dentro de un cierto margen de indeterminación más o menos amplio⁸³.

Se dice que el realismo ya está contenido dentro de la misma ciencia, no puede ser negado ya que el progreso científico así lo demuestra. Para acentuar esto, el realismo sigue tres afirmaciones muy importantes respecto a la ciencia misma y que es válido extender a la mecánica cuántica como parte de la física:

“En primer lugar, existe en la naturaleza un orden que puede ser captado por el entendimiento humano...Cuanto mayor es el progreso científico, es más patente la existencia de las leyes que llegan a ser conocidas y utilizadas para un dominio controlado de la naturaleza (...).

En segundo lugar, es posible alcanzar la certeza en la posesión de la verdad. La verdad se encuentra en el plano objetivo, ya que expresa la adecuación entre nuestros enunciados y la realidad (...).

En tercer lugar, existe continuidad entre el conocimiento ordinario y el de la ciencia experimental. La actividad científica se apoya continuamente sobre el conocimiento ordinario...Ciertamente, son grandes las diferencias entre los procedimientos utilizados, pero la valoración del conocimiento

⁸² Cfr. L.C. Rafael Pascual, *Filosofía del mundo físico...* 166.

⁸³ Cfr. *Ibidem* 167.

siempre depende, en definitiva, de la experiencia y del razonamiento correcto (...)⁸⁴.

Y siguiendo esta afirmación Artigas escribe:

“El éxito de la ciencia es sólo un argumento a favor del realismo. Se trata, sin duda, de un argumento importante; el realismo puede ser considerado como una condición necesaria para la existencia y el progreso de la ciencia, una condición que es retro-justificable por el progreso científico: en la ciencia experimental buscamos conocer la naturaleza, y el progreso científico muestra que conseguimos nuestro objetivo. En esta línea, Jarrett Leplin ha argumentado que ‘ciertos supuestos realistas son cruciales para la racionalidad de la investigación’. En efecto, a menos que admitamos que nuestra capacidad cognoscitiva nos permite alcanzar en alguna medida aspectos reales del mundo natural, toda empresa científica, incluyendo sus resultados y aplicaciones, difícilmente podría tener sentido”⁸⁵.

Sin duda la doctrina aristotélico-tomista toma partido en favor de la objetividad, el determinismo y el realismo, por ello expresa ante toda la problemática de la física cuántica:

“En síntesis, la doctrina aristotélico-tomista sobre los agentes materiales afirma que todos los cuerpos naturales, por estar compuestos de materia y forma, tienen en la forma el principio de determinación específica de su ser y actuar, y en la materia el principio de indeterminación y contingencia, tanto en su ser como en su actuar, de modo que el agente material, aun teniendo por la naturaleza de su forma a un fin y a una acción determinados, y alcanzando esta acción y este fin en la mayor parte de los casos (porque de otro modo la forma sería en vano), sin embargo, por esta razón de la radical indeterminación de la materia prima, puede no alcanzar el fin y la acción buscados por la naturaleza, *in paucioribus*, dentro de un cierto margen de

⁸⁴ ARTIGAS Mariano, *Filosofía de la Ciencia...* 239-240

⁸⁵ *Ibíd*em 100.

indeterminación. Esta deficiencia y esta indeterminación no violan el principio general de la causalidad, pues ya que un evento accidental no exige una causa *per se*, la deficiencia puramente pasiva del agente material, no siendo algo positivo, no exige una causa positiva, sino sólo una causa negativa: la indeterminación y la potencialidad radical de la materia prima⁸⁶.

De esta manera puede decirse que aún es válido hablar de la postura realista aunque sus implicaciones son grandes si quiere conservarse, no puede descartarse. Y al poder hablar del realismo puede perseverarse, con ella, la objetividad de la realidad y la edificación del principio de causalidad que no se ve totalmente arremetido ante el positivismo. Cabe hablar todavía de esta postura pues sigue poseyendo un carácter estructuralmente lógico recordando que la ciencia no se basa solo en la experimentación y comprobación sino también en el orden especulativo de una línea lógica del pensamiento.

4.2 Valoración de las posturas positivista y realista

El progreso científico de las últimas décadas ha traído, desde sus postulados hasta su aplicación tecnológica, una revolución que se ha extendido a campos diversos. La mecánica cuántica se presentó de tal forma; se cayeron las ideas clásicas de una ciencia casi terminada para dar paso a un mundo totalmente nuevo y, hasta ahora, desconocido en gran parte pese a los grandes esfuerzos, aunque la aportación de los grandes científicos no puede menospreciarse. Este avance científico trae nuevos paradigmas, algunos ya han impregnado la vida del hombre pero el mayor cambio vendrá cuando se encuentre una interpretación que se adecue al formalismo de la teoría de los cuantos; cosa que hasta ahora, no se ha logrado.

⁸⁶ L.C. Rafael Pascual, *Filosofía del mundo físico...* 168-169.

Pero claramente alguna de las dos posturas, positivista o realista, ha de encontrar una cimentación de acuerdo a los resultados experimentales. Hasta ahora, es difícil decidir entre una y otra; del realismo porque ha sido una postura que ha acompañado al hombre durante mucho tiempo y casi todas las maneras de mirar el mundo eran bajo este lente; la postura positivista traería un cambio cismático en la vida del hombre y su concepción del mundo, aunque es difícil aceptarla, el formalismo de la mecánica cuántica apunta en gran medida a ella:

“Uno de los posibles escenarios del futuro de la física cuántica consiste, de acuerdo con lo visto, en una sincera y clara adopción del positivismo. El abandono del realismo es doloroso e indeseable filosóficamente, pero debemos reconocer que es muy eficaz para resolver las dificultades de la teoría cuántica [...] si éste resulta ser el futuro de la física, se requerirán grandes modificaciones en nuestra concepción del mundo”.⁸⁷

Esto no quiere decir el abandono total del realismo, pues dentro del mismo formalismo que estudia el micromundo, existe todavía, como se ha visto, la manera de sostenerlo como fundamento pero a un precio alto:

“Hay un amplio espectro de escenarios posibles para el futuro, filosóficamente opuestos al anterior –positivismo- o sea que no implican el abandono del realismo. Los argumentos presentados en esta obra muestran que todos estos escenarios deben tener en común la adopción de la no-separabilidad en la realidad física. La generalización del concepto no-separabilidad resulta en que para todo sistema cuántico existen estados en los que no es posible considerarlo como compuesto por partes, por más separados o distante que esté, tendrá efectos en la totalidad del sistema. En esos estados, el sistema forma un todo indivisible (holismo) y cualquier

⁸⁷ DE LA TORRE Alberto Clemente, *Física Cuántica para Filo-sofos...* 126.

acción en una de sus partes, por más separadas que esté, tendrá efectos en la totalidad del sistema”⁸⁸.

Pareciera que por el momento ambas posturas no cubren todos los aspectos que presentan pues mientras que el positivismo, respaldado en gran parte por el formalismo de la mecánica cuántica, eleva a carácter de absoluto sus resultados del mundo microscópico; el realismo, basado en el orden lógico del pensamiento, en la objetividad de la realidad y el determinismo, no cubre aparentemente todos los requisitos que la física cuántica propone en sus resultados, a menos que acepte la no-separabilidad de los sistemas cuánticos.

Finalmente, ante esta dificultad de tomar una postura, es preciso notar que la mecánica cuántica sigue teniendo descubrimientos y el hecho de que no posea algunas propiedades que se exige a sí misma, muestra que no es una teoría completa. Por tanto, no hay manera experimental, de adoptar una postura por el momento. Pero si bien la deficiencia experimental encuentra límites ahí, el pensamiento no, no sería conveniente adoptar una postura escéptica y anular el juicio. La razón dicta en gran medida, por su orden lógico y su carácter objetivo y de búsqueda de la verdad, tomar una postura; esta postura, ha de ser la que adapte esas características lógicas y objetivas de la razón con la realidad.

⁸⁸ DE LA TORRE Alberto Clemente, *Física Cuántica para Filo-sofos...* 126.

Conclusión

La ciencia ha sido una de las connotaciones palpables de la capacidad del hombre para desenvolverse en su entorno, descubrirlo y transformarlo. Sin embargo, a partir de muchas ideas, surgidas en el siglo XIX, dieron a la ciencia un carácter que va más allá del que posee en realidad; si bien es cierto que la ciencia tiene verdad, eso no quiere decir que tenga TODA la verdad.

Actualmente, vivimos en una era marcada por el paso de la tecno-ciencia que, pareciera, nunca va a terminar. La Teoría Cuántica ha traído consigo gran parte de esta revolución tecnológica y sus alcances han permeado no sólo en su formalismo sino en toda la vida del hombre. Pese a esto la Teoría Cuántica, como se ha demostrado, es una teoría incompleta, aún hay muchas cuestiones por resolver dentro de sí misma, por tanto no puede dársele el carácter de universalidad que muchos han querido.

Ahora bien, lo que hasta ahora respecta a la Teoría Cuántica, nos deja ante dos caminos que son opuestos; por un lado un determinismo o realismo moderado y por el otro un positivismo llevado hasta sus últimas consecuencias. Optar por uno u otro teniendo como fundamento la Teoría Cuántica es, por el momento, imposible, pero siguiendo la especulación lógica que la filosofía ofrece, se puede lograr una respuesta clara respecto al tema.

Optar por el positivismo es, en mucho, indeseable pero, como se abordaba durante el desarrollo del tema, favorece aparentemente una facilidad en los postulados de la Teoría Cuántica. Las consecuencias de aceptar esto equivalen a la negación de un Principio Causal y la reducción del mundo a meras leyes físicas, afirmando que lo que hoy existe es el resultado de un azar, de manera que se pone al hombre en un sinsentido ante el mundo y frente a sí mismo.

El otro camino que puede tomarse es el determinismo o un realismo moderado, aunque para muchos es difícil mantener porque al parecer no coincide con los resultados experimentales del mundo cuántico. Lo que este camino recuerda en primera instancia, es el carácter incompleto de la misma teoría de los cuantos y que puede fundamentarse en los principios ontológicos del pensamiento aristotélico-tomista, recordando que los entes compuestos de materia y forma se encuentran esencialmente determinados de cierta manera y lo que cambia es, no su esencia, sino su materia. Lo que en la teoría de los cuantos se considera como una indeterminación esencial, para el realismo moderado no es sino una indeterminación gnoseológica. De esta forma se salva el Principio de Causalidad y, aunque haya nuevos conceptos y teorías, la esencia del ente se mantiene y no queda como resultado del azar y de leyes físicas.

Elegir el positivismo fundamentado en la Teoría de los cuantos, es aventurarse, en última instancia, al vacío y al abismo de la nada. El realismo moderado puede mantenerse en una visión equilibrada de la realidad, puesto que, sin negarla, puede aceptarla tal cual se presenta sin aniquilar la Causa y el sentido que ella le aporta al género humano.

GLOSARIO

Antimateria: cada partícula de materia tiene una correspondiente antipartícula. Si se encuentran se aniquilan entre sí, dejando energía pura.

Átomo: unidad básica de la materia ordinaria, consiste en un núcleo con protones y neutrones rodeado por electrones que orbitan a su alrededor.

Big Bang: inicio denso y caliente del universo. La teoría del big bang postula que hace unos 13 mil 700 millones de años la parte del universo que actualmente podemos ver tenía sólo unos pocos milímetros. En la actualidad, el universo es mucho más grande y frío, pero se puede observar los remanentes de aquel periodo temprano en la radiación cósmica de fondo de microondas que invaden el espacio.

Bosón: partícula elemental que transmite una fuerza.

Constante Cosmológica: parámetro en las ecuaciones de Einstein que confiere al espacio-tiempo una tendencia inherente a expandirse.

Electrón: partícula elemental de la materia que tiene carga eléctrica negativa y es responsable de las propiedades químicas de los elementos.

Espacio-tiempo: espacio matemático cuyos puntos deben ser especificados por las coordenadas espacial y temporal.

Experimento de Michelson-Morley. Fue un experimento elaborado por Albert Abraham Michelson y Edward Morley en 1887; su intento era medir el *éter* que, se creía, era el medio por el cual la luz se transportaba; el *éter* era para la luz como las olas al agua o el sonido al viento por ejemplo. Después de diseñar un aparato muy ingenioso (interferómetro de Michelson) para dicha labor los resultados fueron muy confusos pues el resultado era nulo y contradecía la presencia del *éter*. La respuesta posterior a este experimento era simple: no había dicho *éter*. Fue entonces que se comenzó a plantear que la luz no se desplazaba por ondas sino que podría viajar sin un medio.

Fermión: tipo de partícula elemental de la materia.

Fotón: bosón que transporta la fuerza electromagnético. Partícula cuántica de la luz.

Fuerza electromagnética: la segunda fuerza más intensa de las cuatro fuerzas de la naturaleza. Actúa entre las partículas cargadas eléctricamente.

Fuerza nuclear débil: una de las cuatro fuerzas de la naturaleza. La fuerza débil es la responsable de la radiactividad y desempeña un papel decisivo en la formulación de los elementos en las estrellas y en el universo.

Fuerza nuclear fuerte: la más intensa de las cuatro fuerzas de la naturaleza. Mantiene unidos los protones y neutrones en el interior de los núcleos atómicos. También la cohesión interna de protones y neutrones, lo cual es necesario, ya que están formados por partículas aún más pequeñas, los quarks.

Gravedad: fuerza más débil de las cuatro fuerzas de la naturaleza. Mediante ella los objetos que tienen masa se atraen entre sí.

Mesón: tipo de partícula elemental que está formado por un quark y un antiquark.

Neutrino: partícula elemental extremadamente ligera que sólo es afectada por la fuerza nuclear débil y la gravedad.

Neutrón: tipo de barión eléctricamente neutro que, con el protón, forma núcleos de los átomos.

Protón: tipo de barión cargado positivamente que, con el neutrón, forma los núcleos de los átomos.

Quark: partícula elemental con carga eléctrica fraccionaria y sensible a la fuerza fuerte. El protón y el neutrón están constituidos por tres quarks.

Supergravedad: teoría de la gravitación que tiene un tipo de simetría denominado supersimetría.

Supersimetría: tipo sutil de simetría que no puede ser asociada con la transformación de un espacio ordinario. Una de las implicaciones importantes de la supersimetría es que las partículas de fuerza y las partículas de materia, y por tanto fuerza y materia, son en realidad dos facetas de la misma cosa.

Teoría de Cuerdas: teoría de la física en que las partículas son descritas como modos de vibración que tienen longitud pero no anchura ni altura, como fragmentos de cuerda infinitamente finos.

Teoría M: teoría fundamental de la física que es candidata a ser una teoría del todo.

Bibliografía

- ARTIGAS Mariano, *Filosofía de la Ciencia*, EUNSA, España, 2006.
- BROOKS Michael, *Grandes Cuestiones Física*, Ariel, Barcelona, 2011.
- BYNUM W. F., “Principio de Incertidumbre”, *Diccionario de la historia de la ciencia*, Herder, Barcelona, 1986.
- DE LA TORRE Alberto Clemente, *Física Cuántica para Filósofos*, FCE, México, 2009
- FERNANDÉZ ALVAREZ-ESTRADA Ramón, *Partículas elementales*, en AA. VV., FCE, 2003.
- GARRIDO Manuel, *El legado filosófico y científico del Siglo XX*, en AA. VV., Cátedra, Madrid, 2009
- HAWKING Stephen, *El Gran Diseño*, Critica, Barcelona, 2011.
- HEEREN Fred, *¿Se puede probar que Dios existe?, Las respuestas que los astrónomos han encontrado en el universo*, Grijalbo, México, 1997.
- JIMENEZ Roberto, *Schrödinger: Creador de la mecánica ondulatoria*, FCE, México 2003.
- L.C. Rafael Pascual, *Filosofía del mundo físico*, Tomo II, Ristampa, Roma, 1994.
- PICKOVER Clifford A., *De Arquímedes a Hawking, Las leyes de la ciencia y sus descubridores*, Critica, Barcelona, 2011.
- RIAZA MORALES José Ma., *Ciencia Moderna y Filosofía*, BAC, Madrid, 1961.
- RUSSEL Robert J, *Física, filosofía y teología, una búsqueda en común*, Edamex, México, 2002.
- SERRANO A. Jorge, *Filosofía de la Ciencia*, Trillas, México, 2003.

- **Medios electrónicos**

- *¿Qué es la Teoría de Cuerdas?* en <http://www.nuclecu.unam.mx/~alberto/physics/cuerdas.html> (09/03/2012)
- *Introducción a la Mecánica Cuántica*, en <http://es.scribd.com/doc/39778502/Introduccion-a-La-Mecanica-Cuantica>.
- SÁNCHEZ RON, J. M., *Historia de la física cuántica*, PDF.

- **Revistas**

- SABADELL Miguel Ángel, *Universo Cuántico, un mundo de locos*, Muy Interesante, XVII, No. 10.
- RANGEL Sarai J., *Incógnitas del Universo*, Muy Interesante, XXVIII, No. 9.