



**UNIVERSIDAD  
AUTÓNOMA  
METROPOLITANA**  
Unidad Iztapalapa

---

División de Ciencias Sociales y Humanidades

Servicio Social

“Apoyo a la investigación en interpretaciones de la mecánica cuántica”  
ICSH0001127

## Las repercusiones de la ciencia aristotélica en la mecánica cuántica de Copenhague

(Entendimiento sobre los problemas epistemológicos, ontológicos y  
lógicos en la teoría cuántica)

Realizado por: Diego Mendoza Nuncio

Matrícula: 2193057913

Asesor: Dr. Miguel Angel Bastarrachea Magnani

30 de enero de 2025

## Iztapalapa, Ciudad de México

### Resumen

En este trabajo se propone estudiar una relación básica entre la filosofía aristotélica (epistemológica, ontológica y lógica) y la interpretación de Copenhague en la mecánica cuántica (Bohr, Pauli, Heisenberg y Born). La investigación trata de exponer cuáles fueron las dificultades para los teóricos cuánticos en el entendimiento de la mecánica cuántica, entendiendo dichas dificultades como una construcción de una razón y paradigma en el concepto de causa (lo causal tanto ontológico como fenomenológico) como teoría y práctica científica. Este paradigma como construcción del pensamiento científico en la teoría cuántica fue el concepto de causa en su praxis científica al momento de trabajar en la nueva ciencia (mecánica cuántica), lo causal se daba por establecido en tres principios básicos de la lógica que son: el principio de identidad (P.I), el principio de no contradicción (P.N.C) y el principio del tercer excluido (P.T.C). Este paradigma subsumido en la mecánica clásica quedó tan arraigado que se daba por hecho, para los científicos que querían comprender la nueva ciencia se encontraron con fenómenos que no podían concebir porque su razón se basa en estos tres principios, por eso costaba tanto dar el salto cuantitativo y cualitativo de la física clásica a la cuántica. solución Se pretende dar como solución y conclusión expositiva que la manera en que se superó este paradigma fue porque se estableció un nuevo enmarcamiento en el concepto de causa (y causas físicas), esto fue a través de entender las causas más allá de los tres principios lógicos, uno de ellos fue el principio de explosión (P.E) dando la posibilidad de comprender de mejor manera causas que parecían contradictorias en la lógica y física clásica, entender la causa como contradicción dialéctica.

El primer capítulo se enfoca en un resumen general de las interpretaciones de la física cuántica. Luego el segundo capítulo detalla la interpretación adoptada en este trabajo (la interpretación de Copenhague). En tercer lugar se mencionan algunas de las discusiones que se han tenido tanto ontológicas como epistemológicas de la interpretación de Copenhague. El capítulo cuatro aborda una descripción de la teoría filosófica de Aristóteles para establecer el diálogo con la teoría cuántica. El capítulo cinco mantiene la discusión de la interpretación de Copenhague bajo la relación con la teoría Aristotélica. Para terminar en el capítulo seis con la conclusión de la investigación propuesta.

**Palabras clave:** Metafísica y ontología, lógica, epistemología, principio de explosión, causalidad, superposición, dualidad onda-partícula, teorías del colapso, función de onda, y el problema de la medida y espectador.

Las repercusiones de la ciencia aristotélica en la mecánica cuántica de Copenhague  
(Entendimiento sobre los problemas epistemológicos, ontológicos y lógicos en la teoría  
cuántica)

Diego Mendoza Nuncio

División de Ciencias Sociales y Humanidades

Universidad Autónoma Metropolitana – Iztapalapa (México)

## **Sumario**

1. Introducción
2. Las diferentes interpretaciones en la teoría cuántica
3. La interpretación de Copenhague
4. Discusiones sobre las implicaciones ontológicas y epistemológicas de la interpretación de Copenhague
5. La teoría aristotélica
6. Discusión de la interpretación de Copenhague bajo el cuerpo de la teoría aristotélica
7. El principio de explosión como provisión al problema en la construcción de la mecánica cuántica

Bibliografía

## **Las repercusiones de la ciencia aristotélica en la mecánica cuántica de Copenhague (Entendimiento sobre los problemas epistemológicos, ontológicos y lógicos en la teoría cuántica)**

### **1. Introducción.**

Este trabajo nace del interés por la fuerte relación que tiene la filosofía con la física y viceversa. El tema sobre la teoría cuántica ya en sí es un asunto muy interesante debido a sus problemas ontológicos-epistémicos y bastante amplio para científicos como para los filósofos, por lo que parece buen motivo profundizar un poco más en este tópico y descubrir los diversos problemas conceptuales de interpretación que fueron emergiendo en la historia de la teoría cuántica. A partir de esta relación usamos la teoría aristotélica en sus ramas de lógica, epistemología y ontología para poder desarrollar la cuestión del problema en el concepto de causa en la teoría cuántica. Se encontrará en evidencia que la metafísica aristotélica no puede concebir fenómenos de la física cuántica, ya de por sí para para los propios científicos de su momentos histórico les costó mucho poder trabajar con lo que llamaban un nuevo mundo (paradigma). Conceptos y problemas como superposición, dualidad onda-partícula, medición y el colapso de la función de onda, son contenidos que requirieron demasiado labor para poder dar resultados (como provisorios) y consensos entre la propia banca de los investigadores. La figura de Aristóteles retrata muy bien el pensamiento de los científicos que se negaron a un nuevo paradigma lógico-ontológico. La función de usar la imagen de Aristóteles es para develar los fundamentos ontológicos y epistémicos de las teorías científicas (en especial mostrar el salto de la física clásica al de la cuántica). Este pensamiento tradicional aristotélico tiene el inconveniente de no abrirse a la posibilidad de que existan objetos o causas físicas que no se comportan de acuerdo a ciertas reglas a las que estamos acostumbrados. Estas reglas en su sentido más básico y abstracto no son más que las de Aristóteles.

La línea discursiva que seguiremos es a través de Aristóteles en su metafísica, a pesar de que existe un gran distanciamiento temporal con respecto a la llegada de la cuántica, el pensamiento científico seguía bebiendo indirectamente de Aristóteles. La dimensión metafísica, epistemológica y ontológica que plasmaba la cuántica exigía salirse o superar la

base abstracta del pensamiento aristotélico que se encontraba en la física clásica. La visión aristotélica demuestra sus flaquezas frente a la cuántica, por ejemplo la superposición, ya que Aristóteles no puede concebir ninguna entidad que viole el P.N.C o el P.T.C. La única manera que se encontró para ofrecer una solución a la viabilidad de entidades que violen alguno de los tres principios lógicos y ontológicos como la superposición es que a través de los conceptos acto-potencia y su esencialismo teleológico permiten la existencia de este tipo de entidades. Por ejemplo pensando que la superposición se encuentra en un estado de permanencia de acto-potencia (actualizándose), esta actualización permitiría la violación del P.N.C y el P.T.C. Esta actualización es entelequia entendida como una realización completa (pero no fija o limitada) en todas las posibilidades. Aunque otra manera más sencilla de concebir entidades que violan dichos principios lógicos y ontológicamente contradictorios a primera vista como la superposición en estas lógicas ontológicas duales es por la concepción del principio de explosión que permite que a través de una contradicción se puede seguir otra cosa.

En la física clásica hay un sistema en un estado con valores definidos, no obstante en la cuántica no hay estados definidos, sino combinaciones de estados que forman un estado posible. El objeto cuántico carece de identidad (no es definible por el principio de incertidumbre y el colapso de la función de onda) como a diferencia del objeto clásico, podría ser que requiriera una ontología de propiedades o una conjetura de propiedades. Es decir donde se le asignara ontológicamente por categorías o niveles cada propiedad dentro de un mismo conjunto del sistema cuántico en evolución. Ontológicamente en la mecánica cuántica las entidades cuánticas aisladas nunca están en acto, sólo en potencia, pero aun así se actualizan aún solo estado en el proceso de medición debido al colapso de la función. Para la ontología tradicional la realidad era concebida como lo actualizado, lo que está en acto, aquí el fundamento lógico de la ontológica que sostiene la idea de actualidad-realidad es el principio de no contradicción, a través del cual se asume que lo actual es lo que es absolutamente determinado, omite toda indeterminación. Este principio además justificaba el propio principio de identidad pues afirma que una cosa es lo que es ( $A$  es  $A$ ), no puede ser otra cosa. Esta ontología y su lógica de intuición evidente crearon un sendero de seguridad sobre la base de la exclusión sistemática de lo contingente, lo azaroso y lo indeterminado, lo cual sin duda influyó en todo el pensamiento científico y filosófico

prácticamente hasta antes del desarrollo de la mecánica cuántica. La física clásica trazó su concepto de objetividad sobre las bases de una estabilidad ontológica en la que el acceso a lo real es a los objetos en sí mismos, es decir una ontología de lo determinado. La cuántica cae en un indeterminismo donde ontológicamente las realidades son potenciales hasta que se les observa son actualizadas, lo posible es parte de lo real, una causalidad no determinista.

El principio de incertidumbre o indeterminación lo tomamos como la cuestión de que no se puede medir la posición y el momento de una partícula con certeza absoluta, cuanto más precisa es la medición de una la otra no. En el principio de incertidumbre se implica un límite en lo que podemos conocer en el estado cuántico. No se debe a los instrumentos de medición, además de que resalta la naturaleza probabilística de la mecánica cuántica a diferencia de la mecánica clásica que sí da una certeza casi absoluta. Las implicaciones filosóficas del principio de incertidumbre ofrecen la determinación y la indeterminación no sólo del sistema de estados cuánticos sino de la naturaleza misma de la realidad y que las propiedades físicas son independiente o dependientes a la observación. El problema de la medición viene acompañado con la cuestión del colapso de la función de onda, al realizar la medición y observación la función de onda colapsa esto da uno de los posibles estados definidos (posición y momento), este problema de la medición hace que se tomen dos posturas de manera muy general que es una evolución determinista y no determinista. La función de onda representa el estado cuántico del sistema a su vez contiene toda la información posible del sistema, la función de onda se encuentra en superposición (múltiples estados de forma simultánea). También el problema de la medición viene acompañado con la cuestión del observador consciente y si esta interviene en el proceso. Es justamente en esta clase de problemas cuando salen a la luz diferentes interpretaciones de la mecánica cuántica. Este trabajo hace énfasis en la interpretación de Copenhague donde la función de onda sí representa una entidad física objetiva, nuestro conocimiento sobre el sistema, el colapso siempre ocurriría siempre que se realice el proceso de medición. En este proceso de medición cuando la función de onda colapsa podemos predecir con probabilidad un resultado.

El ejemplo del gato de Schrödinger además de ejemplificar el problema del colapso en la función de onda, subyace los principios de las lógicas ontológicas en Aristóteles donde resulta paradójico que el gato esté vivo y muerto a la vez, hasta que abramos la caja y cuando abramos la caja debería estar en uno de los estados posibles (se ve que el gato en la idea de Schrödinger al final de estar en un estado no puede estar en el proceso en varios estados, ya que resulta paradójico, esta paradoja obedece al P.N.C y al P.T.C). Una de las críticas que se le ha hecho a la interpretación de Copenhague se debe a que no explica el mecanismo exacto del colapso e introduce una distinción algo arbitraria entre sistemas cuánticos y clásicos.

La medición es una relación no causal, es decir: en la física clásica medir significa revelar o poner de manifiesto propiedades que estaban en el sistema desde antes que midamos. En la mecánica cuántica el proceso de medición altera (dentro de la interpretación de Copenhague) de forma incontrolada la evolución del sistema debido a su carácter probabilístico (colapso de la función de onda). Otro problema de la medición es el aspecto epistémico y fenomenológico: a) Un conjunto de electrones orbitando en un átomo queda descrito por una función de onda, dicha función de onda es un objeto matemático que supuestamente describe la máxima información posible que contiene. b) La función de onda nos informa de cuáles son los resultados posibles de una medida y sus probabilidades relativas, pero nos dice que el resultado concreto se obtendrá si un observador trata efectivamente de medir el sistema o averiguar sobre él, de hecho la medida sobre un sistema es un valor impredecible de entre los resultados posibles. c) El postulado de que una medición destruye la coherencia de un estado inobservado e inevitablemente tras la medida se queda en un estado mezcla impredecible. d) Los objetos físicos como los observadores intervienen en el proceso de medición.

Con estos fines, esperamos que este proyecto de servicio social cumpla con su finalidad mostrar y exponer una interpretación de la mecánica cuántica (la interpretación de Copenhague) en correlación con uno de los autores más importantes de la filosofía, a sabiendas de que tanto estas dos ramas son de vital importancia para el desarrollo de la ciencia misma como de nuestras vidas.

*“Todos los hombres desean por naturaleza saber. Prueba de ello es el amor por los sentidos, puesto que, al margen de su utilidad, los amamos por sí mismos, especialmente el de la vista. Por eso, no sólo para actuar, sino también cuando no tenemos intención de emprender acción alguna, preferimos la vista, según decimos, a todo lo demás. La razón es que este sentido nos aporta más información que ningún otro y nos muestra multitud de diferencias”. Aristóteles. 2008. Metafísica. Editado por María Luisa Alía. Madrid: Alianza Editorial.*

## **2. Las diferentes interpretaciones en la teoría cuántica.**

Existen varias interpretaciones de la teoría cuántica por lo cual solo nos limitaremos a unas de ellas por ejemplo: la interpretación de Copenhague, la interpretación de los múltiples mundos, la teoría de la decoherencia y la teoría del colapso objetivo.

La interpretación de Copenhague fue propuesta por Niels Bohr, Werner Heisenberg, Max Born y Wolfgang Pauli en 1925. En esta interpretación la función de onda colapsa instantáneamente durante la medición debido a la interacción con un observador consciente. Una de las críticas que se le ha hecho es que no explica el proceso exacto del colapso e introduce una distinción algo confusa entre sistemas cuánticos y clásicos. Esta interpretación va naciendo y desarrollándose de forma gradual debido a las conferencias y pláticas que tenían Niels Bohr y Erwin Schrödinger sobre la mecánica de matrices y la mecánica ondulatoria. La primera interpretación de Copenhague, o interpretación canónica de la teoría cuántica se desarrolló a lo largo de varios años a través de discusiones entre Bohr, Heisenberg y Pauli, mientras que del lado de los objetores se encontraban Erwin Schrödinger y Albert Einstein. En resumen tenemos ciertos conceptos básicos de la que bebe esta interpretación como: El principio de superposición, el colapso de la función de onda, el papel del observador, la indeterminación y el principio de complementariedad. Bohr introdujo el principio de complementariedad, que proponía que las descripciones ondulatoria y corpuscular eran complementarias y necesarias para una comprensión completa de los fenómenos cuánticos. Heisenberg formuló el principio de incertidumbre, que establece que hay un límite fundamental en la precisión con ciertas parejas de propiedades, como la posición y el momento, donde a mayor precisión de una propiedad menor precisión será la otra.

La interpretación de los múltiples mundos fue propuesta por Hugh Everett. Afirma que el colapso de la función de onda no existe, en cada universo paralelo se realiza una medición posible de todas las posibilidades. Esto ayuda a comprender la cuestión del colapso, sin embargo la secuencia de una existencia de gran cantidad de universos paralelos es una tesis difícil de aceptar ya que no es algo que se pueda verificar con ningún método científico. Everett quería eliminar la necesidad del colapso de la función de onda, en lugar de colapsar propuso que todas las posibles soluciones de la función de onda se realizan en universos paralelos. En este sentido la función de onda es una descripción completa de la realidad (todas las realidades posibles), no existe un colapso ni tampoco se elige una propiedad probabilística, sino que en lo que nosotros llamamos medición lo que sucede es que nuestra realidad se divide epistémicamente en cada posible resultado. Cada uno de estos universos contiene una versión del sistema en uno de los posibles estados. Esta interpretación se vuelve determinista ya que cada posibilidad dada en la medición está determinada por cada universo paralelo, es decir que cada universo paralelo contiene en sí ya un resultado específico y así se elimina el azar. Aun así esta interpretación no quiere violar los principios lógicos-ontológicos aristotélicos porque en cada universo existe "A", pero nunca "-A", por ejemplo cuando el gato se libera de la caja en un universo estará vivo y en otro muerto, pero en ningún universo estará vivo y muerto, pues la interpretación de los múltiples mundos se limita a mundos de coherencia (de no contradicción) donde siguen estando en A o B.

La coherencia cuántica es la propiedad que permite que las diferentes partes de una superposición interfieran entre sí, creando efectos cuánticos como la interferencia. La teoría de la decoherencia propuesta por Dieter Zeh menciona que la interacción de un sistema cuántico con su entorno provoca la pérdida de coherencia entre los diferentes estados de superposición, haciendo que el sistema aparezca en un estado definido sin necesidad de colapso. Zeh desarrolló esta teoría para explicar cómo los estados cuánticos, que pueden estar en superposiciones, parecen "colapsar" en estados clásicos bien definidos sin necesidad de un colapso de la función de onda, como se sugiere en la Interpretación de Copenhague. Cuando un sistema cuántico interactúa con su entorno (átomos, fotones, o cualquier partícula), estas interacciones causan que los diferentes componentes de la superposición cuántica pierdan su coherencia entre sí. Los estados cuánticos que están en

superposición comienzan a interferir destructivamente debido a estas interacciones con el entorno. Cuando ocurre la decoherencia, la coherencia se destruye, y las diferentes partes de la superposición ya no pueden interferir. Esto significa que, desde la perspectiva del observador, el sistema parece haber "colapsado" en un estado clásico bien definido. La teoría de la decoherencia es compatible con la interpretación de los múltiples mundos, la decoherencia explica cómo las diferentes ramas de los universos paralelos (que corresponden a diferentes resultados de medición) se vuelven independientes y no interfieren entre sí. Una de las críticas a la teoría de la decoherencia es que, aunque explica cómo las superposiciones cuánticas parecen colapsar a estados clásicos, no explica por qué un observador experimenta un único resultado específico.

La teoría del colapso objetivo por GianCarlo Ghirardi, Alberto Rimini y Tullio Weber propone que el colapso de la función de onda es un proceso físico real que ocurre espontáneamente con cierta probabilidad independientemente de la medición e introduce un mecanismo objetivo para el colapso. A diferencia de la interpretación de Copenhague, que introduce el colapso de la función de onda como un proceso ligado a la observación, la teoría del colapso objetivo sugiere que el colapso es un proceso físico real que ocurre de manera espontánea e independiente de la observación. Cada partícula en un sistema cuántico tiene una pequeña pero no nula probabilidad de sufrir un colapso en un intervalo de tiempo determinado, independientemente de si se está observando o no. Cuando ocurre un colapso, la función de onda de una partícula se localiza en una región específica del espacio, haciendo que la partícula se encuentre en un estado de posición más definido. Este proceso reduce la superposición de estados y hace que la función de onda sea más parecida a lo que se espera en el mundo clásico. La realidad es objetiva y los colapsos ocurren independientemente de la observación, sin embargo, esto también introduce una forma de indeterminismo en la naturaleza, ya que los colapsos espontáneos son eventos aleatorios. La crítica más importante que se le ha hecho a esta interpretación es que modifica las ecuaciones fundamentales de la mecánica cuántica y requiere nuevos parámetros.

Como se puede observar cada interpretación de la mecánica cuántica nace por la necesidad de poder responder a su manera el colapso de la función de onda y la probabilidad de tener resultados diferentes cada vez que interviene el proceso de medición, añadiendo la cuestión

del problema de definir un observador dentro de un observable. Este trabajo se enfocará sobre todo en la interpretación de Copenhague, que es una de las interpretaciones mayor aceptadas dentro de la esfera científica.

### **3. La interpretación de Copenhague.**

#### **3.1 El modelo atómico.**

Rutherford llevaba diez años tratando de establecer la identidad de las partículas emitidas por ciertos elementos radioactivos que llamó partículas alfa. Estudió con un espectroscopio el espectro producido por una muestra de partículas alfa recogidas en un tubo de cristal vacío y registrándolo en fotografías. En 1909, el electrón era la única partícula atómica conocida. Los físicos habían ideado diversas disposiciones posibles para ubicar a los electrones dentro del átomo, tales disposiciones se denominaron modelos atómicos y tenían que explicar el hecho de que la materia (en términos generales) es eléctricamente neutra para contrarrestar el electrón negativamente cargado, el átomo debía contener electricidad positiva de alguna forma. No se sabía que existiera una partícula positivamente cargada comparable al electrón; era posible que la electricidad positiva tuviese una forma diferente, acaso fuera un fluido. El físico inglés J.J Thomson, había elaborado un modelo atómico fundado en esta idea (una estructura atómica esférica con carga positiva y pequeños electrones repartidos alrededor). Emiten sustancias radiactivas a grandes velocidades, las partículas alfa son más pequeñas que los átomos, pero son pesadas (tienen masa). Las partículas pasaban por una estrecha rendija y daban en el blanco que era una hoja metálica delgada (por ejemplo, otro científico, Ernest Marsden, usó oro), de donde continuaban hasta una pantalla fluorescente que servía como detector. La partícula alfa que chocaba con esta pantalla producía una ráfaga de luz, diminuta y débil, conocida como centelleo. Su posición en la pantalla indicaba en qué medida se había desviado el proyectil a causa del blanco atómico, si es que había pasado tal cosa. Ahora se dispuso una variante de este aparato destinada a averiguar si aparecían partículas alfa dispersadas con ángulos de  $45^\circ$  y más. En contra de todo lo esperado, Marsden encontró que de los millares de partículas alfa que había hecho pasar a través de la hoja de oro, sólo algunas muy pocas, sufrieron desviaciones de gran ángulo. Una o dos se habían desviado más de  $90^\circ$ ; salieron del blanco

por el mismo lado que entraron. Rutherford se convenció mediante cálculos de que tales rebotes no pudieron deberse a una serie de colisiones entre una partícula alfa y electrones, el modelo atómico de J.J Thomson no aclaraba nada. Había algo en el átomo que podía hacer rebotar las veloces y pesadas partículas alfa.

El cálculo le indicó que debían haber encontrado un campo eléctrico tremendamente intenso. Semejante campo pudiera ser producido por una carga eléctrica concentrada en un espacio muy pequeño. Tomó forma una hipótesis: La electricidad positiva del átomo no era, como creía J.J Thomson, un fluido distribuido uniformemente por el átomo, estaba concentrada en un problema central compacto. En mayo de 1911, Rutherford publicó su primer artículo acerca de lo que habían encontrado y anunció así el descubrimiento del núcleo, como llamó después al problema cargado del átomo. Merced a los experimentos de dispersión consiguió estimar sus dimensiones: el núcleo era diez mil veces menor que el átomo, tan pequeño, en comparación, como una cabeza de alfiler en un sala. No obstante, en el núcleo residía casi toda la masa del átomo. Fuera de este punto diminuto y pesado, en el centro del átomo, había espacio. Allí andaban electrones en número suficiente para compensar la electricidad positiva del núcleo. El modelo atómico que fue surgiendo de la obra de Rutherford y de otros se asemejaba a un sistema planetario, pues la fuerza que mantiene unidos los planetas al sol obedece a una ley de igual forma general que la de la fuerza que mantiene unidos los electrones al núcleo (la ley de Coulomb). Tanto la gravedad como la electricidad disminuyen de intensidad con el cuadrado de la distancia. De esto se sigue que el electrón-partícula, atraído por la electricidad positiva del núcleo, habría de moverse alrededor de éste del mismo modo que un planeta se mueve alrededor del sol. Era una sugestiva idea, un mundo atómico que repite en miniatura el mundo celeste. Sin embargo, no era más que el principio; la verdad era que andaba algo fundamentalmente mal en el modelo atómico de sistema aplicado al átomo.

Ahora Rutherford y J.J averiguaron por qué: Los rayos X enviados a través de un gas, como el aire, hacen que se formen iones (partículas portadoras de una carga eléctrica). Esta propiedad ionizante sería útil a J.J Thomson en sus determinaciones de la carga y la masa del electrón; el estudio de la misma propiedad conduciría a Rutherford a entender la radiactividad. No tardó en aprender algo importante, al estudiar las propiedades ionizantes

de los rayos emitidos por el uranio: este elemento emitía dos tipos distintos de radiación. Uno, que denominó radiación alfa, era fácilmente absorbido por la materia, el otro, la radiación beta, era mucho más penetrante (un año después, otro físico identificó otros rayos aún más penetrantes, gamma.)

### **3.2 Radioactividad.**

Pasaron diez años hasta que consiguió Rutherford probar de modo decisivo en el experimento del espectro, en que las partículas alfa eran efectivamente átomos de helio con carga positiva (núcleos de helio, hoy en día). No existía una teoría general de la radioactividad, esa sería la contribución de Rutherford y de un joven colaborador Frederick Soddy. El primer dato experimental que orientó hacia dicha teoría surgió cuando uno de los discípulos de Rutherford, al encargarle el problema de medir el poder ionizante del elemento radiactivo torio (señal de su grado de radioactividad) tropezó con dificultades. El electroscopio señalaba diferentes intensidades de ionización en diferentes tiempos; no consiguió llegar a una mediación definida, y cosa curiosa, las distintas intensidades parecían depender de que la puerta del laboratorio estuviese cerrada o abierta. No tardó en explicar los resultados, gracias al descubrimiento de que el torio emite un gas radioactivo (llamado ahora torón). Cuando estaba cerrada la puerta del laboratorio, el gas permanecía suspendido sobre el elemento, añadiendo su radiactividad a la del torio; pero cuando era abierta la puerta, las corrientes de aire arrastraban el gas por el laboratorio. La investigación más detenida de este descubrimiento reveló que el torón no se formaba directamente a partir del torio: había otra sustancia de por medio, el torio X ya mencionado. O sea que el torio se convertía en torio X, y éste en torón, de este modo, quizá todos los átomos radiactivos, emitiendo una partícula alfa o beta, se transformasen espontáneamente en átomos de otro tipo, nuevos elementos. La energía de la radiactividad era la del átomo mismo al cambiar o, por usar la palabra técnica, al desintegrarse. Establecieron la existencia de tres familias de elementos radiactivos, una de las cuales partía del torio, otra del actinio, otra del uranio. Todos los demás elementos radiactivos eran descendientes, productos de desintegración de dichos tres elementos. El radio, por ejemplo, era uno de los productos de desintegración del uranio.

En la teoría de la radioactividad de Soddy y Rutherford había una omisión muy significativa. Nada decía acerca del tiempo en el cual cualquier átomo radiactivo determinado lanzaría una partícula y se transformaría con ello. Se desconocía qué era lo que desencadenaba tal proceso. Se había intentado acelerar o retardar la desintegración; todos los intentos fallaron. El calor, el frío, otras condiciones externas, no afectaban el ritmo de desintegración, este ritmo tampoco cambiaba cuando un elemento radiactivo se unía con otro para formar un compuesto químico, y la edad del átomo tampoco venía al caso. El ritmo de desintegración del radio era el mismo si el átomo de radio llevaba mil años existiendo o si se acababa de formar a partir de un átomo más pesado. Estaba claro que la desintegración radiactiva se debía a un cambio interno del átomo (una rotura del núcleo, según se estableció después), pero se ignoraba que ocasionaba este cambio. De esta manera la teoría de la radioactividad no predecía nada acerca del comportamiento futuro de ningún átomo.

Ya insinuamos antes que había algo mal en el modelo atómico inicial que surgió tras el descubrimiento del núcleo, el modelo que representaba el átomo como un sistema solar en miniatura. De acuerdo con este modelo, el electrón era atraído por el núcleo de carga opuesta. Así, el electrón se movería, como los planetas, siguiendo una órbita elíptica alrededor del núcleo, en movimiento. Porque de acuerdo con las leyes de la electricidad, una carga en movimiento debe producir radiación electromagnética, luz. El electrón, siempre en movimiento, produciría radiación; todos los átomos emitirían luz sin cesar. Pero la materia en condiciones ordinarias no emite luz. Ésta era una falla del modelo atómico planetario, pero había otra, estrechamente relacionada con la primera. Un electrón en movimiento, debiera al producir la radiación, perdería energía y así se dirigía hacia el núcleo siguiendo un camino espiral, lo mismo que un satélite, frenado por el aire, se dirige en espiral hacia la Tierra. Transcurren semanas o meses hasta que un satélite cae en la Tierra; el electrón caería en el núcleo en una fracción de segundo. De este modo, no existiría una cosa como el átomo, habría sólo un núcleo. El modelo que representaba la estructura atómica negaba simultáneamente la posibilidad de tal estructura. Este problema era el que Niels Bohr iba a resolver, y con ello añadió un elemento determinante a la ciencia que desembocó en la física atómica actual.

Hacia la época en Ernest Rutherford ideaba técnicas para ahondar en la constitución de la materia, otros experimentadores mejoraban técnicas para medir la radiación. Se inventó la idea teórica de un emisor de luz casi perfecto, o sea un cuerpo material que, al ser calentado a elevadas temperaturas, emite dentro de ciertos límites, radiación de todas las longitudes de onda posible. Este espectro de luz de máxima anchura, conocido como radiación del cuerpo negro. Los diferentes colores de un espectro y sus intensidades variables representan las energías que hay en la radiación. Partiendo de supuestos basados en teorías del calor y la luz de aquellos tiempos, trataron de deducir una fórmula de que describiese la distribución de energías en el espectro del cuerpo negro, aquellos esfuerzos fallaron y el fracaso recibió el nombre de la *catástrofe en el ultravioleta*. La conclusión de la teoría era que un cuerpo negro, calentado a altas temperaturas, emitiría una cantidad infinita de energía en la zona de altas frecuencias, o sea de longitudes de onda ultravioletas y de más allá. Si la naturaleza se comportase en realidad según las predicciones de esta fórmula, un pedazo de carbón ardiendo, o cualquier otro fragmento de materia radiante, emitiría energía en una ráfaga de peligrosa radiación de ondas cortas. En el caso del cuerpo negro, precisamente como en el caso del átomo, la física predecía una algo que en realidad no ocurría. Y ambas predicciones se debían al mismo supuesto, la idea de que la naturaleza no da saltos, de que la energía es un continuo, una gama sin interrupciones. Este cambio radical en la ciencia arranca de una hipótesis que describía correctamente las energías de la radiación del cuerpo negro, negando la energía de los objetos microscópicos fuera continua.

### **3.3 La radiación del cuerpo negro.**

La primera ley de la termodinámica emplea la conservación de la energía para enunciar que existe un tipo esencial de energía no mecánica, el calor o la energía térmica. La conservación de la energía es un principio aparte, pues si bien la energía nunca se pierde sino que cambia de una forma a otra, no es posible convertir toda la energía calorífica en trabajo. La segunda ley afirma que, en el curso natural de los acontecimientos, cierta cantidad de energía se torna inaprovechable para posteriores usos. La versión de la segunda ley de la termodinámica debida a Rudolf Clausius, explica la observación de que es imposible convertir en trabajo toda la energía calorífica, y otras consecuencias que explica

cuantitativamente, a partir de la medida llamada entropía. La entropía es una razón (una relación fija entre magnitudes) que mide los cambios de la naturaleza, en un solo sentido, tendiendo siempre a aumentar: *“Cuando ocurre un cambio natural, la entropía aumenta o, en el mejor de los casos, permanece la misma”*. Lovett, Barbara. 2018. *La ley de la entropía. En Los creadores de la nueva física, editado por Juan Almela, 62. México: FCE.* Ésta era la versión de Clausius de la segunda ley de la termodinámica.

El espectro del cuerpo negro (o de cualquier otra cosa) muestra cómo está distribuida la energía entre las diferentes longitudes de onda, pues algunos colores son más intensos que otros. El problema consistía en explicar esta distribución específica de energía sobre la base del conocimiento general. Los inconvenientes surgían cuando los físicos daban el siguiente paso: a fin de obtener la distribución energética en el espectro, había primero que atribuir energías a las partículas responsables de la radiación; tenía que ser distribuida la energía entre ellas de tal suerte que tal o cual movimiento produjese radiación de tal o cual energía. Pero si la energía es continua, según se suponía, no podría haber restricciones al respecto, que introdujeran saltos, cambios bruscos. O sea que el movimiento oscilatorio de las partículas eléctricas no podía ser restringido; las oscilaciones habían de ser indefinidamente pequeñas. Pero de esto se sigue sin remedio que la energía de la radiación en el extremo de ondas cortas (altas frecuencias) del espectro será indefinidamente grande. En términos más técnicos, habría un aumento continuo hacia el infinito al disminuir la longitud de onda. Planck llegó a su primera fórmula de la radiación haciendo un poco de trampa, entre las diferentes fórmulas que se habían propuesto con respecto al problema, dos atinaba en parte: una daba correctamente la distribución de la energía de la región espectral de las ondas cortas; y la otra rendía cuentas con exactitud de la región de ondas largas. Planck vio un modo sencillo y lógico de combinar las mejores características de las expresiones matemáticas.

Aunque el problema, tal como lo hemos definido, concernía a partículas eléctricas y su movimiento, Planck no basó su intento de solución en la eléctrica, lo que hizo fue usar la termodinámica. Quería poner de manifiesto una vez más, el incremento de entropía tomada en sentido absoluto. La interpretación estadística de la ley según Ludwig Boltzmann, Planck nunca había utilizado aquella interpretación, pero se volvió ahora a ella y definió

otra vez el problema, como lo habría hecho Boltzmann, en términos de movimientos moleculares y de sus probabilidades estadísticas. Estaría demostrando también automáticamente que la segunda ley no era una certidumbre absoluta, en blanco y negro. De esta manera demostró que el aumento de entropía, aunque abrumadoramente probable, no era seguro en términos absolutos, según venía creyendo desde hacía más de una década. A fin de deducir la fórmula correcta para el cuerpo negro era necesario seguir un camino estadístico, pero también algo más: hacía falta una hipótesis que rompía de plano con la física del siglo XIX.

No aplicando el método de Boltzmann como hubiese querido, Planck fundó su labor, ni más ni menos, en la hipótesis de que la energía no es continua. En determinado paso, al resolver un problema, el método de Boltzmann requería que tratase uno la energía como si tuviera dividida en porciones separadas, pues si se trata de determinar un grado de probabilidad, hay que tener algo que contar. Boltzmann y otros familiarizados con su método entendían que esta división de la energía no pasaba de ser un técnica de cálculo. Una corriente interrumpida de energía, al igual que una línea curva es infinitamente divisible. Si Planck hubiese aplicado el método de Boltzmann como su autor quería se hiciera y, luego de calcular con porciones de energía, hubiese vuelto a reunir las permitiéndoles crecer sin límite, habría llegado a una conclusión enteramente diferente. Suponiendo correctos sus cálculos en otros respectos, habría obtenido la fórmula que llevaba a la catástrofe en el ultravioleta.

Pues la energía tratada en porciones no es infinitamente divisible y por lo tanto la energía radiante tampoco se hace infinita. Lo que es más, haciendo desiguales las porciones, la energía puede ser distribuida de tal modo que no se concentre sobre todo en las ondas más cortas. Planck descubrió la sencilla pero extraña regla que residía detrás de su primera fórmula y que forma la base de la teoría cuántica. La regla enuncia una relación entre una porción de energía, que Planck llamó un cuanto, un *quantum*, usando la palabra latina que significa cantidad, y la frecuencia de una onda, relacionada con su longitud. Para encontrar la energía de un cuanto  $E$ , se multiplica una frecuencia de onda  $f$  por un número fijo, una constante, representada por  $h$ .  $E=hf$

La regla de Planck era extraña porque consignaba una igualdad entre la energía concebida como discontinua ( $E$ ) y (en vista de que la frecuencia atañe a fenómenos ondulatorios) la energía concebida como continua. Se debía de entender que la luz podía entenderse como una corriente de granos de energía o cuantos. El problema del cuerpo negro se refería a la emisión y la absorción de luz, no a la estructura de la radiación misma. El trabajo de Planck imponía un límite sólo a la energía de las partículas eléctricas que componen la materia: podían moverse sólo de ciertas maneras, de suerte que fuese emitido o absorbido un cuanto entero  $hf$ . Si la luz sale de la materia en porciones y vuelve a ella en porciones, parecería seguirse que la luz debe existir como partículas. La obra de Planck no fue un desafío directo a la teoría ondulatoria de la luz; aun así, rompía rotundamente con las ideas aceptadas, ideas basadas en la observación de la naturaleza. Un péndulo que oscila parece perder su energía gradualmente y sin saltos, y aquí el péndulo significa casi cualquier cosa lo suficientemente grande para ser observada directamente. En todos los casos, la energía parece cambiar de modo continuo. Sin embargo, la obra de Planck niega esto, en el caso de la radiación del cuerpo negro, la energía cambia a saltos.

### **3.4 El efecto fotoeléctrico.**

El movimiento browniano fue uno de los problemas que resolvió el célebre Albert Einstein en la oficina de patentes, otro fue la teoría del efecto fotoeléctrico, que le mereció en 1921 el premio Nobel. Ante este panorama Einstein consideró el problema de la radiación del cuerpo negro. Conocía la obra de Planck al respecto, de varios años atrás, pero la encontró confusa. Usando sus propias herramientas estadísticas, exploró la cuestión: ¿Qué conclusión se sigue lógicamente de la física al ser aplicada al caso del cuerpo negro? Esta línea de pensamiento condujo a Einstein a la obra de un experimentador alemán, Philipp Lenard, que había estudiado la absorción de luz de alta frecuencia (como la ultravioleta) por ciertos metales. En estas condiciones es transferida tanta energía luminosa a los electrones del metal, que algunos de ellos son arrancados de la superficie metálica. Este arrancamiento de electrones por luz de alta frecuencia es lo que se llama efecto fotoeléctrico. Como hemos visto, la solución de Planck al problema del cuerpo negro descansaba en la ecuación  $E=hf$ , haciendo que la energía de un cuanto dependiese de la

frecuencia de una onda correspondiente. De ser válida la misma ecuación para el efecto fotoeléctrico, Lenard, al experimentar con haces de luz de diferente frecuencia, hubiera observado una diferencia en sus resultados. El fotón asociado a la luz ultravioleta poseería más energía que el fotón de luz roja, y así los electrones que arrancase al metal viajarían con mayor velocidad. Lenard había encontrado que tal era el caso: la velocidad de las partículas alcanzadas cambiaba con la frecuencia de la luz empleada, y según Einstein mostró, las velocidades diferían de acuerdo con la ecuación  $E=hf$ . La hipótesis cuántica rendía cuentas de las observaciones del efecto fotoeléctrico, lo mismo que explicaba las energías de la radiación del cuerpo negro. Éste era el modo como Einstein extendió la idea cuántica de Planck y con ello ensanchó la brecha que la apartaba de la física clásica y subrayó la contradicción enunciada por  $E=hf$ , con su partícula de energía de un lado y una definición de onda ( $f$ ) por el otro. Veinte años transcurrían antes de que los físicos entendieran cómo es que la luz podía tener propiedades de partículas y también de ondas.

Por aquel tiempo Einstein empezó a trabajar en la oficina de patentes; había revivido su interés en la física y fue allí, como vimos, donde formuló la mecánica estadística que permitía explicar el movimiento browniano, y elaboró la teoría fotoeléctrica. También allí completó su primera teoría de la relatividad que, por considerar un caso especial, el movimiento en línea recta a velocidad invariable (movimiento uniforme), se llama teoría especial de la relatividad. Partiendo de ella, Einstein encontró más tarde una manera de abordar el movimiento no uniforme también, en su teoría general de la relatividad. Estas teorías son conocidas sobre todo por ciertas consecuencias que Einstein pudo deducir de ellas. De la teoría general provinieron deducciones acerca del tamaño y la estructura del universo; de la teoría especial procede la ecuación  $E=mc^2$ , que tuvo un papel decisivo en la investigación y el aprovechamiento de la energía nuclear. Pensando, Einstein recibió honda influencia de los escritos filosóficos de Ernst Mach, que criticaba las ideas que sustentaban la física clásica por estar insuficientemente relacionadas con los hallazgos experimentales. No sólo le parecía a Mach dudosa la idea del espacio absoluto, sino que criticaba también el concepto de tiempo absoluto, del tiempo tal como lo concebimos en la vida cotidiana. Supongamos, pues, que diferentes observadores moviéndose a diferentes velocidades, no midiesen el mismo tiempo. ¿Habría algún modo posible de comparar las distintas mediciones? ¿Podría tenerse en cuenta la diferencia temporal? El análisis de los

experimentos posibles dio la respuesta: no, es imposible. Esta pregunta supone que diferentes observadores, moviéndose a diferentes velocidades, podrían medir el tiempo lo mismo, de suerte que medirían la velocidad de la luz en el mismo instante. No habría fundamentos firmes que suponer tal cosa. ¿No podría ser, entonces, que estimaciones de tiempo debidas a diferentes observadores variasen con la velocidad de su movimiento, variasen de tal manera que la velocidad de la luz siempre debiera ser observada como constante? El axioma esencial de la teoría era sencillamente que la velocidad observada de la luz es siempre la misma, sin importar el movimiento (uniforme) de su fuente o de su receptor.

En las deducciones de Einstein la velocidad de la luz (que los físicos representan por la letra  $c$ ) aparece a menudo, ya que la empleaba como principio organizador. Aparece en las nuevas leyes que gobiernan el movimiento de los cuerpos y son parte de la teoría, leyes que concuerdan con las de Newton para los cuerpos que se mueven lentamente en relación con  $c$ , pero que difieren de las de Newton cuando la velocidad se acerca mucho a  $c$ . De acuerdo con las leyes de Einstein, la masa aumenta con la velocidad, y se hace infinitamente grande a  $c$ . Por lo tanto, nada en el universo puede viajar a 300 mil kilómetros por segundo. Se sigue también de estas leyes que la masa y la energía, tenidas hasta entonces separadas, son de hecho diferentes aspectos de la misma cosa. Una masa diminuta equivale a una inmensa cantidad de energía:  $m=E / c^2$ . Lo que hizo esta ecuación fue servir de base cuantitativa para la explotación de dicha energía más tarde. Para Einstein,  $E=mc^2$  tenía un significado especial, la ecuación expresaba una relación fundamental de la naturaleza, y se desprendía por deducción lógica de supuestos que, para Einstein, eran más sencillos que los de la física newtoniana. Aquí estaba pues la justificación de su creencia en una pauta universal subyacente que el hombre podía descubrir merced a su noción de la sencillez lógica.

Pocos años después de ser presentada la teoría de la relatividad especial, un matemático, Hermann Minkowski, se dio cuenta de que la teoría podía ser expresada en una forma matemática diferente de la empleada por Einstein. En la versión matemática de Minkowski, el espacio y el tiempo aparecían como una unidad, un continuo de cuatro dimensiones. Einstein había mostrado que un acontecimiento tiene que ser medido diferentemente por diferentes observadores. Pero la teoría había proporcionado asimismo un modo de

correlacionar observaciones divergentes, de modo que pudiera llegarse a una medición confiable válida para todos los observadores. Esto se lograba, según señaló Minkowski, refiriendo los datos obtenidos por la observación a un marco espaciotemporal matemático. Quedó así de manifiesto que la teoría de Einstein introducía una nueva definición del espacio y el tiempo.

### **3.5 Madurez de la teoría cuántica.**

Niels Bohr pensaba en la teoría de la relatividad especial de Einstein, en las leyes del movimiento que reemplazaban a las de Newton para cuerpos que se movieran a velocidad cercana a la de la luz, pero que daban las mismas soluciones que las leyes de Newton al ser menores las velocidades. Sabía también que en tanto que la regla cuántica de Planck para la radiación del cuerpo negro no concordaba con la ley clásica en la región de las ondas cortas y las altas frecuencias para las longitudes de ondas largas y las frecuencias bajas las leyes contradictorias estaban en acuerdo cercano. Sobre la base de esta evidencia, Bohr tuvo la impresión de que probablemente habría algún día una nueva física suficientemente amplia para incluir la antigua. La física clásica seguiría valiendo donde había valido en el pasado; el porvenir revelaría que era parte de una teoría más vasta. En otras palabras, Bohr creía que lo que aparentaban ser opuestos irreconciliables bien podía reducirse a diferentes aspectos de la misma cosa que, vistos en un contexto más amplio, resultarían armonizables. La fórmula de Johann Balmer, desarrollada en 1885, describe las longitudes de onda del espectro visible de la luz emitida por el hidrógeno cuando los electrones caen a su segundo nivel de energía. Bohr reconoció que la fórmula de Johann Jakob Balmer podía ser escrita de una manera ligeramente distinta, usando el símbolo  $h$ , la constante de Planck, tuvo así una fórmula que describía el espectro real del átomo de hidrógeno, tal como lo determinaban los experimentos, al igual que la de Balmer, pero que también explicaba dicho espectro en términos de cuantos de energía. Bohr alzó una teoría cuántica del átomo que explicaba el hecho de que los átomos de ordinario no emitan radiación y de que el electrón no se precipite en espiral hacia el núcleo. La teoría de Bohr no llevaba a conclusiones imposibles, de manera inesperada, entraba en conflicto con las ideas de la física clásica.

En la física clásica el electrón da vueltas alrededor del núcleo en órbitas de distintas formas y tamaños. En cada órbita su energía es un poco diferente. Las órbitas posibles, tantas como el número de energías posibles, son infinitas: la energía es continua. Para Bohr el electrón no se mueve en todas las órbitas que son posibles, sino sólo en aquellas que su energía es proporcional a la constante de Planck multiplicada por un número entero. La energía es discontinua. En la física clásica el electrón, atraído por el núcleo, gira a su alrededor emitiendo energía y cae en espiral en el meollo atómico. Para Bohr el electrón puede pasar de una a otra de las órbitas cuánticas especificadas, pero tales órbitas representan sus únicas energías. El electrón no puede avanzar más hacia el núcleo de lo que representa la órbita cuántica más interna. En la física clásica el electrón que se mueve dentro del átomo siempre emite radiación, cuya frecuencia equivale a la frecuencia de giro en la órbita. Para Bohr el electrón que se mueve en una órbita cuántica no emite radiación. Cuando se suministra suficiente energía al átomo (por calentamiento, digamos), el electrón es forzado hacia afuera desde una órbita más interior, asociada a una baja energía, hasta una órbita más externa, cuya energía es superior.

Es emitida radiación cuando el electrón, atraído por el núcleo, cae de nuevo en una órbita interna. El salto de la alta energía a la baja produce una cantidad definida de energía luminosa. La frecuencia de ésta es igual a la diferencia de energías entre las dos órbitas, dividida entre la constante de Planck. Esto es, ni más ni menos, otra manera de enunciar la ecuación de Planck  $E=hf$ . Ahora  $E$  pasa a ser la pérdida de energía y la ecuación, invertida, indica entonces: que la frecuencia es igual a la pérdida de energía entre la constante de Planck. El *salto cuántico* del electrón de órbita a órbita implica que la energía es emitida (y absorbida) en cuantos.

De acuerdo con la teoría de Bohr, el átomo no puede aceptar cualquier cantidad de energía, sino sólo las cantidades específicas precisas para enviar el electrón desde la primera órbita cuántica que representa el estado normal o fundamental del átomo hasta una de las órbitas exteriores estipuladas. Bohr comenzó postulando un núcleo de carga positiva dada, no rodeado de ningún electrón, entonces uno por uno, añadió electrones al átomo hasta que hubo suficientes para compensar la carga positiva del núcleo, cada electrón era asignado a una órbita cuántica; un grupo de órbitas constituía una envoltura o capa. La primera

envoltura, llamada K, era la más cercana al núcleo y así la más firmemente unida por el campo positivo de éste; la envoltura siguiente, que envolvía la K, estaba unida con menos vigor y así sucesivamente. Por ejemplo, el átomo neutro de sodio tiene once electrones. Dos de éstos habrían de constituir una envoltura cerrada, ya que de acuerdo con Bohr todo átomo que tenga dos o más electrones comprende una envoltura K de este tipo. La envoltura siguiente, la que reviste a la K, queda completa cuando contiene ocho electrones, de modo que ocho de los electrones del sodio irían a esta envoltura L. Quedaría así uno de los once electrones del sodio. Completas las anteriores envolturas, con este electrón se iniciaría una capa nueva, M, que no queda completa hasta no incluir también ocho de electrones.

La idea de Bohr de que las energías del átomo son discontinuas (cuantizadas) era correcta, pero no su explicación. El electrón no es, como suponía Bohr, una versión en miniatura de las partículas materiales de que se ocupaba la física preatómica. El electrón no se mueve dentro del átomo como se movería una partícula así. Como hemos visto, Bohr encontró que a fin de ajustar la teoría al espectro del hidrógeno, debían ser restringidas las leyes clásicas por medio de la constante de Planck, haciendo discontinua la energía. Einstein había demostrado que la constante  $c$  representaba un límite para la mecánica clásica, los cuerpos que se movían a velocidades cercanas a la luz no eran gobernados por leyes clásicas sino relativistas, por leyes basadas en supuestos enteramente diferentes. En 1917 Einstein hizo otra contribución fundamental, halló un camino concordante con la teoría de la estructura atómica de Bohr que desembocaba en la fórmula de la radiación de Planck. Esta última se había basado en supuestos muy generales acerca de la estructura de la materia de la que emanaba radiación, ya que el electrón era un descubrimiento nuevo por los días en que Planck dio con su fórmula. Ahora, expuesta por Bohr una teoría detallada de la susodicha estructura, habría de ser posible deducir el resultado de Planck del de Bohr: concretamente, tenía que ser posible deducir la distribución energética de la radiación del cuerpo negro a partir de la regla de Bohr que vinculaba las frecuencias con los saltos posibles entre órbitas. (El número de veces que se repetiría un salto daría la intensidad de la energía de la correspondiente frecuencia en el espectro). Estos cálculos permitieron deducir estructuras de envolturas para los distintos elementos. Una vez que los físicos supieran qué era lo que ocasionaba lo desconcertante conducta del átomo, desaparecería la necesidad estadística, en

tanto Bohr imaginó que la estadística pudiera desempeñar un papel esencial en la comprensión final del átomo, Einstein no pudo.

### **3.6. Nacimiento de la interpretación de Copenhague.**

Trabajando en Copenhague, Wolfgang Pauli descubrió la regla, conocida como principio de exclusión. La obra de Pauli se basó en observaciones de los espectros de los átomos, el número de tales observaciones era muy grande; en la inmensa pila de datos Pauli distinguió un principio sencillo de selección válido en todos los casos. En todo sistema de partículas elementales, tal como el conjunto de electrones del átomo, no pueden moverse dos de la misma manera (no pueden ocupar el mismo estado energético). De la teoría de Bohr, Pauli recibió todos los datos químicos que explicaban las envolturas, en apoyo de su principio de exclusión. Al igual que la teoría atómica de Bohr, sugería que el electrón poseía asombrosas propiedades, que le permitían comunicarse con sus semejantes y cuál era su movimiento.

Bohr sencillamente aplicó la constante cuántica de Planck al caso del átomo, dijo que el átomo es estable en virtud de una limitación de las energías que puede tener, limitación gobernada por la constante de Planck. La luz cuando viaja es un movimiento ondulatorio, pero cuando tropieza con la materia, la energía luminosa es transferida en unidades, y cuando la materia emite luz, también es en unidades de energía. Al igual que la luz, la materia tiene características doble, unas veces aparece de composición ondulatoria, a veces en partículas. Cuando una propiedad es medida con precisión, es imposible en absoluto conocer la otra. El electrón no es una cosa, los electrones obedecen las leyes de grupo, esto se aprecia en el experimento de interferencia.

La pauta ondulatoria, de intensidad variables se componía de impactos separados; donde era pálida, había menos impactos; donde estaba oscura, ninguno. Para hacer una predicción exacta cuando se trata de electrones, hay que considerar un nutrido grupo de ellos, conforme aumenta el número de impactos en la pantalla, la respuesta a la pregunta ¿dónde estará la mayoría de los electrones?, se hace cada vez más precisa. Es imposible decir dónde estará en el porvenir un electrón cualquiera, pero podemos predecir, y con gran precisión dónde se encontrará un grupo abundante de electrones. La construcción lógica de la mecánica cuántica es tal que sólo permite deducir grados variables de probabilidades

obtenidas sería abrumadora: equivaldría, pues a la certidumbre. Hay también implicaciones filosóficas: contradice la idea de que todo acontecimiento natural puede ser remitido a una causa antecedente.

El supuesto de Bohr de que el electrón es una partícula ordinaria y así se mueve en órbitas alrededor del núcleo fue incorrecto; lo que sí era atinado era la aplicación de la constante cuántica al caso del átomo, usando el número  $h$  para limitar el movimiento de una partícula. Pero para dar razón del movimiento de algo que tiene propiedades ondulatorias habrían sido precisas leyes del movimiento enteramente nuevas. La mecánica cuántica explica la naturaleza de onda-partícula de la materia; la electrodinámica cuántica es la correspondiente teoría de la luz. Todos los electrones son idénticos, pero cuando se añade uno a un átomo, cambian radicalmente las propiedades de éste, un cambio de cantidad acarrea un cambio cualitativo. El electrón partícula no nos lo dice, o, mejor dicho, nos lo dice sólo si suponemos que las partículas pueden intercambiar información, a través del espacio, acerca de sus distintos movimientos, de suerte que ningún electrón repita lo que hace otro, pero las ondas confinadas tendrán que cubrir el dominio entero del átomo, pues tal es la naturaleza de las ondas, tienen que estar en todas partes y responder a condiciones por todas partes. Los símbolos de la mecánica cuántica no se refieren ni a partículas reales ni a ondas reales. Casi siempre los físicos emplean la forma ondulatoria, en lo fundamental es un asunto simple: ahí está la ecuación diferencial básica, cuya solución es una magnitud llamada función de onda. Se introduce cantidades a esta ecuación, cifras que representan la información ganada merced a los experimentos y tocantes a clasificación como posición y frecuencia. Esta función de onda no describe propiedades reales sino la probabilidad de hallar tales propiedades en determinadas condiciones experimentales. Representan un surtido de distintos acontecimientos, algunos más probables que otros. El grado de probabilidad dependerá del número de casos iguales que se esté considerando.

La ecuación de De Broglie afirmaba que: la longitud de onda es igual a la constante de Planck sobre el momento (masa por la velocidad). Los experimentos de George Thomson y de Clinton Davisson (que se les merecieron en 1937 el Premio Nobel de física) demostraron la propiedad ondulatoria del electrón; experimentos posteriores revelarían que protones, átomos y, en ciertas condiciones, hasta moléculas se conducen como si fueran lo que De

Broglie llamó ondas materiales, y otros físicos ondas de De Broglie. La regla de multiplicación de Heisenberg, por ejemplo, que residía en las raíces de las dos formas de mecánica de partículas, estaba también implícita en la mecánica ondulatoria de Schrödinger. Los tres esquemas, diferentes pero equivalentes, recibieron el nombre general de mecánica cuántica. De ellos, los físicos hallaron que el de Schrödinger era el más conveniente para usarlo. Dirac introdujo cambios: aplicando conceptos de la relatividad especial, escribió la ecuación de onda de Schrödinger de un modo levemente distinto.

El instrumento fundamental de la mecánica ondulatoria era una ecuación diferencial que, al ser aplicada a un problema, daba la solución en términos de los símbolos  $\Psi(x,y,z)$ . La letra griega psi,  $\Psi$ , puede ser interpretada como una perturbación definida por  $x,y,z$ , que se refieren a tres dimensiones espaciales. Podía suponerse, pues con Schrödinger, que la materia era fundamentalmente un fenómeno ondulatorio y que lo que parecían ser partículas elementales era en realidad restringidas regiones espaciales donde las ondas se refuerzan unas a otras. Con la mecánica de Schrödinger podía uno representar un electrón como una perturbación ondulatoria en un espacio de tres dimensiones. Bohr había encontrado señales de que la interpretación de la mecánica ondulatoria por Schrödinger no era correcta. Los hallazgos de Max Born decidieron la cuestión, pues consiguió demostrar que no podían ser creadas partículas elementales por interferencia de ondas, como había propuesto Schrödinger. La onda psi, en su espacio imaginario, no debía ser interpretada como descripción de una real vibración ondulatoria. No había que identificarla con las ondas materiales (o de De Broglie) que habían sido reveladas por primera vez en las experiencias de Davisson y Germer.

El principio, una relación matemática entre ciertas definiciones que son usadas en física. Se denominaba principio de indeterminación o de incertidumbre. Esto sugería que cuando una posición experimental dada es definida exactamente, su correlato, el momento, no puede serlo. Y gracias a estas experiencias logró calcular cierta cantidad mínima que siempre era la misma, una constante. Esta magnitud representaba la inevitable incertidumbre de las mediciones que definen  $p$  y  $q$ ; se trataba de la magnitud que Max Planck fue el primero en identificar. Heisenberg destiló su ley, que afirma que, a toda medición de posición o momento, a cualquier medición de energía en un instante especificado, es inherente a una

incertidumbre igual cuando menos a la constante de Planck. De acuerdo con esta ley de indeterminación,  $q$  y  $p$  no son independientes: si el uno es semidefinido, otro tanto le ocurrirá al otro. Si uno es completamente desconocido, el otro queda definido exactamente. La ley de Heisenberg niega la posibilidad de obtener esta información inicial, al afirmar que  $q$  y  $p$  son inseparables hasta el grado mínimo de la magnitud de  $h$ , y que es imposible enmendar la situación merced a una corrección, pues aunque  $h$  representa el mínimo, la incertidumbre puede ser algo mayor. La física clásica, pues, es válida sólo cuando las magnitudes a las que se refieren  $q$  y  $p$  son muy grandes en comparación con  $h$ , de modo que el vínculo establecido por  $h$  puede ser dado de lado. Paul, Dirac, Max Born y sus colaboradores reconocieron que la regla de Heisenberg para multiplicar  $p$  y  $q$  era el *quid* de su sistema de matrices, y esto les permitió la construcción del sistema generalizado de la mecánica cuántica. Y así las definiciones que se venían empleando en física reflejaban las preguntas formuladas; posición, velocidad, frecuencia y así sucesivamente, las magnitudes que resumimos en  $p$  y  $q$ , son lo que hay que medir para saber a qué se debe el proceso y qué lo hace proceder.

Durante años enteros Einstein no había contribuido a la teoría cuántica de la estructura atómica, creyendo que la vía estadística seguida por otros no podía conducir a una comprensión fundamental. Einstein centró sus capacidades en un intento de refutar la ley de indeterminación de Heisenberg que sustenta la interpretación de Copenhague, encontrando un caso en que la ley no fuese válida. Usaba experimentos mentales y apoyándose en ellos trató de demostrar que  $q$  y  $p$  podían ser medidos a la vez y con precisión, en contra de la ley de Heisenberg. En física, mientras tanto, la mecánica cuántica y la interpretación de Copenhague siguieron siendo la única teoría que explicaba fundamentalmente el comportamiento de los átomos.

#### **4. Discusiones sobre las implicaciones ontológicas y epistemológicas de la interpretación de Copenhague.**

La principal implicación ontológica en la interpretación de Copenhague es que los estados cuánticos no describen (por causalidad, deducción y determinación) un resultado fijo dentro del sistema antes del proceso de medición (como en la mecánica clásica) de las

partículas hasta que se realiza una observación. El estado cuántico del proceso de medición está sujeto a lo que el observador desea medir (principio de incertidumbre y principio de complementariedad). El proceso de evolución del sistema cuántico se vuelve indeterminista, no hay estados definidos hasta que se observe el sistema que a su vez provoca el colapso de la función de onda, es por medio del colapso donde ya se tienen propiedades del sistema cuántico definidos (si podemos decir que están fijos de forma total). Esto quiere decir que en el sistema de medición y escalas de la mecánica cuántica rompe todo lo concebido que se tenía por visto en la mecánica clásica, se rompe la idea de que los objetos físicos (medibles) en sí ya poseían cualidades o parámetros definidos en todo momento y espacio. El sistema de la mecánica clásica es determinista y predictivo tanto física y ontológicamente hablando, ya que cualquier objeto físico que se desea medir, predecir y analizar siempre estará sujeto a los principios lógicos-ontológicos aristotélicos (P.I, P.N.C,P.T.C). Tal vez la pregunta realmente importante sea investigar porque ontológicamente colapsa la función de onda y es aquí donde cada interpretación da su comentario donde se pondrá en contra o a favor de que tanto interviene el observador consciente dentro del proceso de medición, si será un proceso de colapso objetivo o subjetivo.

Ontológicamente implica 4 cosas: la realidad del sistema cuántico en evolución es indeterminista, el resultado de lo que se desea medir siempre dependerá del observador (lo que desea medir), el observador parece ser necesariamente consciente del sistema observado y por último la actualización de lo observado supone un límite cognitivo de nuestro conocimiento del sistema y nuestra relación con dicho sistema. También otro problema ontológico aunque no exclusivo de la interpretación de Copenhague es el problema de la simultaneidad en el principio de incertidumbre, la cuestión de la precisión a costa de perder una para ganar otra parecer ser en sí que la incertidumbre cobra una característica esencial, la incertidumbre en su ontología marca la difusión o marco de que A o B son exclusivas en propiedad, pero codependientes en medición.

Las implicaciones epistemológicas de la Interpretación de Copenhague afectan la manera en que entendemos el conocimiento, la realidad, y la relación entre el observador y lo observado. Las implicaciones son: límite en el conocimiento que tenemos del sistema

cuántico o al menos en cuanto a su captura de datos debido al principio de incertidumbre, y el papel del observador determina en cierto caso los resultados en el proceso de medición. El mundo cuántico es probabilístico y no se puede describir de manera definitiva (los resultados) hasta que se realice una observación. Desafía las concepciones clásicas del conocimiento (en referencia a la física y la lógica clásica) y la objetividad (es independiente del papel del observador). Otra implicación sumamente interesante es ver cómo el conocimiento y la realidad se vuelven interacción (papel del observador) y no es como tal un descubrir (no están predeterminadas dentro del sistema como en la física clásica).

## **5. La teoría Aristotélica.**

La filosofía de Aristóteles es una respuesta a sus antecesores (los filósofos presocráticos, Sócrates y Platón), que empleó herramientas como la lógica y la metafísica para intentar superarlos. La lógica para él puede entenderse como una facultad o una técnica, como la forma de leer la realidad, esta lógica está encaminada a la cuantificación más elemental, donde encontramos los principios básicos de las entidades ontológicas, como el P.N.C. Esto lleva a pensar que hay una correspondencia entre el pensar lógico y la estructura de la realidad ontológica. Al contrario de la dialéctica platónica, Aristóteles busca la verdad en el mundo sensible, la lógica nos permite organizar y categorizar el mundo, es así como la lógica se transforma en lo real, de la razón a la ontología de las entidades. Esta representación se basa *a priori*. En que nuestro pensar es la representación ideal de nuestro mundo, tanto las reglas que conoce el género humano deberían de ser las mismas para nuestro mundo exterior tanto fenomenológica como ontológicamente.

La filosofía primera (metafísica) es el saber de aquello donde toda cosa recibe su ser (esencia o sustancia) y no deja de ser, solo se predica de ella sus accidentes. Estos accidentes de la sustancia son: cantidad, cualidad, relación, lugar, tiempo, posición, posesión, acción y pasión. Nuestras categorías trascendentales (estructura de la razón y la experiencia) tratan de envolver al objeto por medio de una red conceptual que va aproximándose a sus principios últimos y fundamentales. La metafísica es una ciencia que habla del ser en cuanto ser y a lo que lo rodea, todo esto sin ser una ciencia que se reduzca todo a ella misma, pero que va partiendo de ella. Nosotros a través de nuestros

pensamientos tenemos nociones en las cuales tenemos representaciones de objetos, las nociones comprenden categorías como: sustancia, cantidad, cualidad, relación, lugar, tiempo, situación, maneras de ser, acción y posición. La sustancia y sus formas de predicación (accidentes) también se encuentran en la lógica, los enlaces lógicos (conjunción, disyunción, condicional, bicondicional) y los principios lógicos (P.I, P.N.C, P.T.E) se configuran en la metafísica como identidad y oposición (contradicción y privación).

La física de Aristóteles es la ciencia de lo móvil y lo corpóreo, busca los principios del movimiento, la actividad de los cuerpos y sus causas finales o teleológicas. Todo movimiento es un cambio y este puede ser sustancial o básico. El espacio es continuo al igual que el tiempo, el primero es finito y el segundo infinito. Los movimientos pueden ser locales o circulares, el último gran movimiento es el primer motor. Los tipos de cambio como hemos mencionado pueden ser sustanciales (generacionales o radicales) y accidentales (alteración, aumento o disminución y desplazados). Uno de los conceptos más importantes dentro de la filosofía aristotélica es la de sustancia o esencia.

Podemos decir en primer momento que la sustancia es aquello que no puede faltar en un ente para que siga siendo tal en tanto que es, es aquello que lo hace ser sin importar su cambio. De aquí partimos de lo que llama Aristóteles su teoría de las cuatro causas (las causas de las causas), esto trata de explicar cómo es que se producen las causas y cómo se compone una causa en general, existen las causas: materiales (materia), formales (forma), eficientes (creador) y finales (fin). El movimiento o cambio de las cosas puede ser de dos formas que cohabitan: en acto (lo que el ser es actualmente) y en potencia (las posibilidades posibles de lo que puede llegar a ser). Este movimiento de acto a potencia es el movimiento que conoce Aristóteles. Esta distinción del cambio en acto y potencia propone resolver los problemas del cambio como lo pensaban los presocráticos, especialmente Parménides y Heráclito, pues encontramos que del ser al no-ser no se puede llegar, pero el ser si se puede decir de muchas maneras (del ser a lo que puede ser). La sustancia es una composición entre materia y forma para Aristóteles, por eso se le llama a su propuesta hilemorfismo. Esta misma sustancia primera la podemos ver tanto lógica o lingüísticamente por el sujeto de cualquier predicación y epistemológicamente por su definición o razón de ser.

SUSTANCIA PRIMERA	SUSTANCIA SEGUNDA	ACCIDENTES
MATERIA	EFICIENCIA	CANTIDAD Y CUALIDAD
FORMA	FINALIDAD	RELACIÓN
DEFINICIÓN	CARACTERIZACIÓN	LUGAR
ACTO	POTENCIA	TIEMPO Y POSICIÓN
EL ENTE EN CUANTO ENTE	EL ENTE EN CUANTO PUEDE SER	ACCIÓN
EL SER	EL LLEGAR A SER	PASIÓN

Para Aristóteles todo movimiento tiene un causa anterior que lo realiza y a su vez esa causa es efecto y producto de otra causa. Lo que podemos deducir es que llegaremos a una gran infinidad de causas que generan el movimiento, sin embargo Aristóteles pensó que debía de existir un principio (una unidad) que mueva a las demás causas sin que ella sea movida por otra, esta causa que mueve a todas las demás sin que sea movida por otra es el primer motor. Este tipo de Dios es eterno, inmóvil y es acto puro, no necesita potencialidad debido a que en su acto contiene todo. Recordemos que la potencia implica un cambio, si este Dios tuviera un cambio es porque lo movió otra cosa y no era perfecto. La filosofía de Aristóteles es una postura realista y materialista, ya que considera que todas las cosas tienen existencia y esencia independientemente si las conocemos o no.

Como hemos venido diciendo, la lógica es el elemento primordial de Aristóteles para dar criterio y coherencia a su razonamiento en vez del método platónico. Retomemos una vez más los cuatro tipos de cambio en su física; el cambio sustancial (la creación o destrucción), los cambios cuantitativos (aumento o disminución), los cualitativos (color o longitud) y los cambios de lugar (el desplazamiento). La cuestión del cambio está determinada por el sujeto y la esencia que conserve el ente, dentro de los cambios que no alteren la identidad sustancial de la entidad. Los cambios que pueden corromper sustancialmente la identidad de la entidad son los cambios materiales y formales. El cambio visto de esta forma se convierte en una sucesión de actualizaciones que estaban predeterminados en la configuración de la entidad, dicha también por su privación. Este tipo de pensamiento es teleológico o que las entidades de algún modo aspiran a llegar a un

fin (no se debe de confundir con una capacidad deliberativa), tienden a una finalidad de su accionar.

Para Aristóteles todas las cosas tienden a un fin incluso los objetos inanimados, todo agente obra por un fin, que es el principio de finalidad, esto no quiere decir que todos los agentes sean conscientes de ese obrar. No podemos saber exactamente porque las entidades inconscientes obran con un fin, podría decirse que es parte de su naturaleza, sólo sabemos que tienden con esa finalidad. Cualquier entidad a excepción del motor inmóvil está determinada a tener acto y potencia (ya que cualquier entidad tiende a tener un tipo de movimiento o transición), ya que esto demuestra un cambio. Ya que la sucesión de actualizaciones es decir cuando algo está siendo actualizado a su potencia es una potencia que podemos conocer con precisión, sin embargo en este caso solo aplica para entidades no pensantes, por ejemplo podemos predecir las potencialidades de una semilla a un árbol o alguna planta, de una parábola o del ciclo de la lluvia. Vemos que la potencia está sujeta al acto. Para Aristóteles no puede existir algo que sea puramente potencia sin ninguna privación. El ser humano posee como toda entidad acto y potencia, sin embargo y aquí tocamos parte de la ética de Aristóteles es que si bien ontológicamente y biológicamente el ser humano posee acto-potencia de forma determinada (de niño a hombre y de hombre a anciano) a nivel psicológico y ético puede tener una gran serie de actualizaciones, ya que como ser pensante y de necesidades buscara aquello con lo que se siente realizado que es la causa final o teleológica, es decir que al ser humano no lo podemos determinar, sólo podemos saber que su último potencial ético y psicológico es aspirar a la felicidad y a la virtud. Lo que se quiere dar a ver es que el acto y la potencia en entidades no conscientes están determinadas mecánicamente tanto ontológicamente y aun así tiende a un fin, la serie de actualizaciones potenciales es su programación predeterminada, es predeterminada porque estaba dentro de su ser y de su privación que las orienta, pero le faltaba una serie de tiempo para que se realizaran, aquí si podemos saber todo su potencial, pero en las cosas pensantes como el ser humano no, en el ser humano podemos saber su último fin el cual es ser feliz, pero no la serie de sus actualizaciones psicológicas. Podemos notar un cierto problema del observador, ¿cómo un ser consciente puede medir la serie de actualizaciones potenciales de una entidad sin conocer con totalidad sus niveles de privación de dicha entidad?

Yo puedo medir las demás cosas inertes de su ser, yo me puedo medir a mí mismo porque soy mi ser, mi reflexión, pero no puedo llegar a medir a los otros seres conscientes, porque no sé todo sobre su ser, todo su potencial, no sé su reflexión. La mente de algún modo prescribe alguna intencionalidad teleológica a las demás entidades.

#### **4.1. Contenido estructural de la lógica y ontología aristotélica.**

Ahora nos interesan tres conceptos importantes en los que nos centraremos, hablo de los tres principios de toda lógica, el principio de identidad (PI), el principio de no contradicción (PNC) y el principio del tercer excluido (PTE). La lógica ha sido una de las ramas de la filosofía y una de las herramientas para esta misma, es una disciplina que estudia el razonamiento de manera ordenada y coherente de los enunciados (premisas y conclusiones) en su forma más abstracta posible. En estos escritos aristotélicos encontramos las obras: *Categorías*, *De la interpretación*, *Primeros analíticos*, *Segundos analíticos*, *Últimos analíticos*, *Tópicos*, *Refutaciones sofistas*. Las *Categorías* proponen una clasificación de 10 clases generales de lo que hay. De la interpretación se refiere al lenguaje (que es un nombre y verbo), sobre el papel de la negación, la relación entre enunciados categóricos y la discusión del concepto de necesidad. Los *Primeros analíticos* están en la doctrina de las inferencias silogísticas. Los *Últimos analíticos* se basan sobre todo en los problemas de metodología. Los *Tópicos* contienen indicaciones de argumentación para el caso de debates. Las *Refutaciones sofistas* son discusiones y análisis de los argumentos falaces (falacias). Es natural que esta disciplina siguiera evolucionando pese a las grandes bases que construyó Aristóteles, otras aportaciones de la lógica post-aristotélica: el papel de la doble negación, el análisis de los conectivos lógicos, los condicionales, la lógica-matemática, las tablas de verdad, etc.

El *principio de identidad* es tanto un principio lógico como ontológico, nos dice en primera instancia que toda cosa es lo que es, no dice nada nuevo ( $A=A$ ), es evidente por sí mismo como un juicio analítico, una cosa no puede ser otra que no sea ella y ontológicamente que el ente es ente. Este principio es un principio de certeza, ya que nos asegura fundamentalmente que una cosa es esa cosa y no puede ser otra cosa que no sea esa misma, de aquí se derivan los otros principios, pero el fundamento es este primero. Tanto es una ley básica del pensamiento como también es una ley del entendimiento abstracto.

El *principio de no contradicción*, nos dice que nada puede ser y no ser simultáneamente (ontológica), y que es imposible para la misma cosa y al mismo tiempo ser inherente y no ser inherente a una misma cosa (lógicamente). Todo esto es igual  $A \neq B$ .

El *principio del tercer excluido*, nos dice que una proposición o es verdadera o es falsa, pero no puede existir una tercera opción, es decir que entre dichos opuestos contradictorios no hay la posibilidad de un punto medio, podemos ver que toda proposición tiene que ser forzosamente verdadera o falsa, no puede existir un enunciado que no sea verdadera y no sea falso.

Podemos concluir que el P.I es un principio que afirma la esencia única de las entidades ontológicas y su privación absoluta, podemos pensar que la madera es madera en acto y que puede ser una mesa de madera en potencia, la identidad sigue estando en su sustancia, sólo ha cambiado por lo accidentales y en términos lógicos un enunciado identitario es el mismo a pesar de cambiar su predicación, ya que se encuentra en su sujeto de la oración, sigue siendo ella misma mientras no rebase los límites de su privación  $A=A$  y  $A \neq B$ . El P.N.C limita que toda entidad lógica y ontológica no puede tener la misma sustancia o valores de verdad al mismo tiempo, la misma sustancia y valor de verdad divide explícitamente la posibilidad del mismo momento de la entidad, o algo es o no es, pero no pueden ser al mismo tiempo, porque ya es algo. El P.T.E nomina el valor de verdad o de existencia de un enunciado o entidad, o es verdadero o falso, pero no cabe otra posibilidad existencial mediable.

La representación de  $A=A$  se usa en lógica para mostrar representativamente que un enunciado es el mismo y no puede ser otra cosa, por ejemplo una mesa es una mesa y no una manzana. También se puede ver como un contenido extenso de la misma enunciación (juicio analítico), ya la misma predicación del enunciado contiene al sujeto, por ejemplo todos los triángulos tiene tres lados o todos los chalecos no tienen mangas. Como vemos, el principio de identidad es una enunciación tautológica, tenemos la certeza de que su propio sujeto o entidad es necesaria y evidente en su verdad. Si bien el principio de contradicción es una de las bases de la lógica y ontología aristotélica, este principio puede ser omitido por otros tipos de lógica como la paraconsistente o polivalente. Además de otras discusiones como el *principio de explosión* del cual nos menciona que a partir de una contradicción se

puede llegar a decir lo que sea, sí esto es así el propio principio funcionaria como una regla de adición y no de contradicción en primer término. El principio del tercer excluido se puede ver como hemos dicho anteriormente en otras lógicas modernas como una omisión, incluso que este principio es más que nada un sesgo de abstracción fenomenológico ya que refleja nuestra obstinación de dividir el mundo en afirmaciones o negaciones para no caer en contradicciones, pero esto no quiere decir que no existan realmente verdaderas contradicciones ontológicas.

Sí la física estudia los aspectos materiales y móviles, y las matemáticas estudian las realidades inmateriales y cuantitativas, entonces la filosofía primera (metafísica) estudia la realidad de la realidad misma en cuanto es y no es, su objeto es lo suprasensible, la constitución de los elementos comunes que cohesionen la existencia. Esta filosofía primera es un conocimiento de lo universal (en el sentido más abstracto) de las causas y los fundamentos primeros y últimos. La causa de las causas son: material, formal, eficiente y final. Estas causas han de ser finitas tanto cualitativamente como cuantitativamente. El ser se puede decir de muchas formas, pero todas de sus formas se han de someter a la sustancia. La filosofía primera está sujeta a los fundamentos ontológicos de la misma lógica y entre todos ellos el más importante es el de no contradicción. El ser es sobre todo sustancia. La acción de moviente de las entidades de pasar a otra cosa (siempre y cuanto esté en sus posibilidades) es el movimiento del acto a la potencia.

*“La mayoría de los primeros filósofos pensaban que los principios de toda las cosas eran únicamente los materiales. Para ellos, el elemento y el principio de los seres es aquello de lo que todos ellos se componen, aquello a partir de lo que se generan en su origen y perecen en su fin, manteniéndose la substancia a pesar de los cambios accidentales. Creen por eso que nada se genera ni se destruye, puesto que la naturaleza así concebida subsiste siempre”. Aristóteles. 2008. Metafísica. Edición de María Luisa Alía. Madrid: Alianza Editorial.*

Cualquier causa tiene un orden y un movimiento, de no tener ambas hablaríamos del no-ser. Cualquier principio de demostración o da a conocer una sus consecuencias o una negación, de aquí la importancia implícita de la lógica (P.I, P.N.C, P.T.C). Es la metafísica la ciencia de las ciencias, ya que estudia al ser en cuanto ser y no en cuanto se dice. Todo objeto ontológico posee una substancia y está en sí misma no contradice los principios de la

lógica, ya que sería inexistente por su misma negación contradictoria (no es definible), porque de no serlo no sería definible ontológica y epistemológicamente.

*“Éste es el más firme de todos los principios, pues encaja con la definición que antes dimos. En efecto, es imposible concebir que la misma cosa pueda ser y no ser al mismo tiempo, tal como algunos creen que afirmó Heráclito; en efecto, no necesariamente se piensa lo que se dice. Y si es imposible que atributos contrarios pertenezcan simultáneamente al mismo sujeto”. Aristóteles. 2008. Metafísica. Edición de María Luisa Alía. Madrid: Alianza Editorial.*

Es tal la defensa de Aristóteles que no se puede concebir una entidad que viole el P.N.C, sería algo absurdo, carente de coherencia y materialmente imposible de existir. El P.N.C no solo es un principio del pensamiento, sino que es un principio que se encuentra entre letras en la realidad misma. He de decir que una entidad viola el P.N.C significaría para el pensamiento aristotélico afirmar igualmente que ninguna entidad posee una sustancia. Este tipo de doctrinas que violan el P.N.C impiden que el pensamiento pueda razonar, ya que no puede partir de algo definible y categorizable.

*“Y de todas maneras, afirmar el Ser y el No-ser simultáneos conlleva afirmar también que todas las cosas están más bien en reposo, no en movimiento, pues no hay nada en lo que puedan transformarse, ya que todos los atributos pertenecen ya a todos los sujetos”. Aristóteles. 2008. Metafísica. Edición de María Luisa Alía. Madrid: Alianza Editorial.*

*“Por otra parte, parece que la doctrina de Heráclito, que dice que todas las cosas son y no son, hace que todas sean verdaderas, mientras que la de Anaxágoras, a saber, que hay algo intermedio entre los términos contradictorios, hace que todas sean falsas; ciertamente, cuando las cosas están mezcladas, la mezcla no es ni buena ni no buena, de manera que no se puede decir nada verdadero”. Aristóteles. 2008. Metafísica. Edición de María Luisa Alía. Madrid: Alianza Editorial.*

## **6. Discusión de la interpretación de Copenhague bajo el cuerpo de la teoría aristotélica.**

Uno de los principios básicos de la mecánica cuántica ha sido el principio de incertidumbre o indeterminación de Heisenberg, donde no se puede medir la posición y el momento de una partícula con certeza absoluta. De este mismo principio se encuentran dos interpretaciones la de Einstein y la de Bohr, la primera donde nos menciona que no

podemos medir las magnitudes subatómicas, ya que la propia medición interfiere con el observador, y la segunda donde la propia realidad no sé concreta hasta que la observemos.

La interpretación de Copenhague ha sido la interpretación más usada en la mecánica cuántica. Un sistema cuántico en evolución durante el tiempo como una onda y partícula, posee varias características. Para medirlas tenemos que usar necesariamente la función de onda, ya que posee todas las posibilidades de la onda, el problema se encuentra que cuando la medimos solo se logra ver los estados posibles que ve el observador. Una respuesta ha sido que los sistemas cuánticos no tienen propiedades definidas debido a eso poseen una multiplicidad de posiciones y el acto de medir hace que la función de onda colapse. La interpretación de Copenhague se ha vuelto de algún modo intersubjetiva por la dependencia del observador. El sistema cuántico en la evolución de la partícula durante el tiempo se ha vuelto indefinible, lo único definible es la pregunta que le hacemos al sistema (dentro de la función de onda).

Como podemos ver la física cuántica supone una dificultad significativa a nivel ontológico, ya que sus presupuestos fundamentales y las propiedades de las entidades subatómicas implican la violación de los principios ontológicos como el de identidad y el de no contradicción. Parece ser que se requiere de un nuevo tipo de objetividad ontológica que contemple estos objetos, su existencia simultánea de no localidad y de no permanencia refleja un nuevo nivel epistemológico. La medición, la observación y el uso de la experimentación en la física clásica fue fundamentada en representaciones sensoriales ordinarias. Las matemáticas que utilizo Newton para la explicación de los fenómenos naturales no significo para la historia de la ciencia una dificultad conceptual, no existía ninguna violación ontológica ni epistémica. En teoría cuántica no hay objetos individuales, sino sistemas conjuntos no locales, por eso no es posible identificar todas sus partes, lo mejor sería optar por una ontología holística de propiedades y de secciones.

Una función de onda señala la probabilidad de encontrar un electrón en una posición específica, la función de onda es una entidad matemática que codifica todo lo que puede saberse dentro del sistema cuántico. Ontológicamente en la mecánica cuántica las entidades cuánticas nunca se encuentran en acto, sino sólo en potencia (cosa imposible para el propio Aristóteles). Cuando un observador realiza una medición, sólo se obtiene un resultado,

todos los estados cuánticos pasan a un estado fijo. Desde el momento en el que se cuantiza el electrón se rompe el *principio de causalidad*, ya no hay manera de seguir al electrón, este aparece y desaparece. Anterior a la observación el estado cuántico está indefinido, no es ni onda ni partícula, es una combinación lineal de ambas, es un fenómeno que incluye su contexto experimental.

En la interpretación de Copenhague se habla de sistemas individuales que al ser observados colapsan la función de onda. Dependiendo del tipo de observación que se haga, el electrón se comportara como onda o como partícula y en ambos casos se trata de uno solo. La actualización implica el colapso de la función de onda. La superposición no es un objeto clásico con anterioridad a la observación está en un estado de indefinición cuántica, antes de la observación no es ni onda ni partícula, es una combinación lineal de ambas. Los tres problemas importantes de la medición en la teoría cuántica son: 1) la conciencia, 2) lo no-causal, y 3) los problemas epistémicos y fenomenológicos. A su vez de estos tres problemas fundamentales encontramos la cuestión del colapso de la función de onda: si el estado de una partícula está dado por una onda que representa varios de sus estados a la vez entonces ¿por qué cuando medimos solo se ve uno de ellos?, esto parece en cierta medida estar contestado por el principio de indeterminación. Otra cuestión sería que el proceso de medida altera de forma incontrolada la evolución del sistema.

La función de onda no es un punto sobre una gráfica, sino una distribución, sin embargo se puede hacer un histograma gracias a ella. Podemos pensar el sistema cuántico como una serie potencial antes del acto (actualización) de la medida, como un sistema de varios estados indefinibles (estados posibles), pero todo esto se derrumba debido a que la pregunta que le hacemos al sistema es una pregunta definible hace que se derrumbe todas las posibilidades. Las entidades cuánticas están determinadas probabilísticamente, hace que sea una ontología así reformulada implicara la no reducción a lo meramente actual. La actualización es únicamente una parcela de la realidad y en todo caso una forma de ser, la consideración de nuevos marcos de referencias para acceder a lo real, un buen inicio podría ser asumir que lo posible en el que se sitúan las entidades cuánticas es también parte de lo real. Resulta claro que la mecánica cuántica ha dado lugar a una nueva objetividad, a una

causalidad no determinista que se sitúa lejos de otros criterios ontológico, epistemológico y lógico.

Los axiomas de la cuántica nos dicen: 1) El estado del sistema corresponde con un vector en el espacio de Hilbert, 2) Los observables del sistema  $A$  son operadores hermitianos en el espacio de Hilbert, epistemológicamente uno decide la dirección que se quiere observar, 3) El espacio de Hilbert de un sistema de partículas compuesto es el producto tensorial del espacio de Hilbert, 4) La ecuación de Schrödinger es una regla de evolución temporal de los estados cuánticos, y 5) El colapso de la función de onda se da tras la medición en un operador  $A$  en el estado cuántico del sistema, se colapsa en un estado propio de  $A$  con la probabilidad dada por sí propia. Tenemos la configuración o la pregunta que se hace en el estado cuántico y la cosa o el observable como el operador, el principal problema de la medición como hemos comentado es que deja de ser causal y se vuelve indeterminista. El problema de la medición es la existencia de dos reglas de evolución temporal: 4) y 5) y que, quién decide cuál se usa, es el concepto de medición que no está definido en la teoría.

Los físicos identificados con la posición de Heisenberg concluyeron que la descripción adecuada de los fenómenos atómicos requería la renuncia al concepto tradicional de realidad, derivado a fin de cuentas de la experiencia con objetos macroscópicos. Por otra parte, Einstein y otros físicos identificados con posiciones filosóficas más realistas, entre ellos el propio Schrödinger, concluyeron que más bien la mecánica cuántica no da cuenta de manera exhaustiva de la realidad a nivel microscópico, sino que sólo describe estadísticamente el comportamiento de los sistemas atómicos. La posición filosófica e ideológica de los hombres de ciencia, que todos tienen aunque no todos los reconozcan y lo acepten, influye de alguna manera en su actividad científica. Es posible que el contenido del conocimiento científico sea en cierta medida independiente de las ideas extracientíficas del investigador que lo descubrió y de las del estudioso que lo aprende, pero la expresión del conocimiento y, sobre todo, su interpretación, sí depende, y mucho, de los conceptos, juicios y prejuicios extracientíficos de los hombres de ciencia.

Debido en la interpretación de Copenhague que introduce el principio de incertidumbre, que desafía los principios clásicos de causalidad y predicción, la realidad subatómica no está definida hasta que es observada, lo que genera un conflicto con la lógica aristotélica,

particularmente con el Principio de No Contradicción (PNC) . Aristóteles sostenía que es imposible que algo sea y no sea al mismo tiempo y bajo el mismo aspecto. Sin embargo, en la física cuántica, las partículas pueden existir en estados superpuestos, lo que parece violar el PNC. Un ejemplo claro es el experimento del gato de Schrödinger, donde el gato puede estar simultáneamente vivo y muerto hasta que es observado. En términos aristotélicos, la superposición cuántica puede interpretarse como una coexistencia de la potencialidad y la actualidad en el mismo sistema. La superposición parece reflejar un estado de potencialidad pura (un ser en potencia) que sólo se actualiza mediante la observación (y provoca el colapso de la función de onda). Sin embargo, esta actualización no es compatible con la noción aristotélica de la actualización gradual del potencial, ya que en la cuántica, el colapso de la función de onda ocurre de manera instantánea y no lineal (de ser a llegar a ser).

Otro punto de conflicto entre la mecánica cuántica y la filosofía aristotélica es el concepto de sustancia . En la filosofía aristotélica, la sustancia es aquello que tiene una existencia propia e independiente, y está claramente definida en términos de su esencia y atributos. En la cuántica, sin embargo, las partículas no tienen una identidad fija hasta que son observadas. Antes de la observación, las partículas pueden existir en múltiples estados simultáneamente, lo que socava la noción aristotélica de la identidad sustancial. La idea de que una partícula no tiene una identidad definida antes de la medición es problemática desde una perspectiva aristotélica, ya que sugiere que el ser no tiene una esencia determinada hasta que interactúa con un observador. El hilemorfismo aristotélico plantea que toda realidad está compuesta de acto y potencia, donde el acto es el estado actual de una cosa y la potencia son las posibilidades latentes que pueden llegar a realizarse. En el marco cuántico, la función de onda es una representación de todas las potencias o posibilidades que un sistema puede tener, pero no se realiza en un acto hasta que se produce una observación. Aristóteles concebía la actualización de la potencia como un proceso continuo y dependiente de una causa, mientras que en la cuántica, el colapso de la función de onda es un evento discreto e instantáneo. La cuántica introduce una "ruptura" en el proceso de actualización, en oposición a la gradualidad y previsibilidad del cambio en el esquema aristotélico.

## **7. El principio de explosión como provisión al problema en la construcción de la mecánica cuántica.**

El desarrollo de la mecánica cuántica, particularmente en la interpretación de Copenhague, representa entonces una ruptura significativa con los paradigmas tradicionales de la lógica y la ontología aristotélica. Los teóricos cuánticos, como Niels Bohr y Werner Heisenberg, se enfrentaron a una serie de dificultades epistemológicas y ontológicas al intentar conciliar los fenómenos cuánticos con la lógica clásica, cuyos principios se basan en la identidad, la no contradicción y el tercero excluido. Estos principios, profundamente arraigados en el pensamiento científico de la física clásica, no podían abarcar la naturaleza indeterminada y probabilística de los fenómenos cuánticos, como la superposición de estados y el colapso de la función de onda. El principio de explosión, en su noción dialéctica, ofrece una posible vía de escape a estas limitaciones. Este principio sugiere que, ante una contradicción, cualquier cosa es posible, y se plantea que la causa puede entenderse de manera dialéctica en lugar de determinista. Bajo esta lógica, el principio de explosión permite superar las paradojas cuánticas al aceptar la coexistencia de estados aparentemente contradictorios, como en el caso del experimento del gato de Schrödinger, donde el gato está vivo y muerto hasta que se observe. Esta lógica dialéctica puede ayudar a los teóricos cuánticos a trascender el marco lógico aristotélico, permitiendo una comprensión más profunda de la naturaleza indeterminada de los fenómenos cuánticos.

Sin embargo, aunque el principio de explosión brinda una herramienta útil para comprender la superación de las contradicciones en la física cuántica, no resuelve todos los problemas de interpretación. Uno de los problemas fundamentales es que, a pesar de permitir la coexistencia de estados contradictorios, el principio de explosión no proporciona una explicación ontológica satisfactoria sobre cómo o por qué ocurre el colapso de la función de onda. Porque aunque este principio permite aceptar la coexistencia de posibilidades contradictorias, no aborda de manera definitiva el proceso que lleva a la selección de un estado sobre otro. En otras palabras, mientras el principio de explosión permite que las contradicciones se mantengan en un nivel teórico, no explica cómo se resuelven en la práctica mediante la medición (el proceso y relación observador y sistema como

interacción). Por tanto, podemos concluir que el principio de explosión ofrece una forma novedosa de conceptualizar las dificultades lógicas que enfrentaron los teóricos cuánticos al tratar de entender los fenómenos cuánticos desde la perspectiva de la lógica aristotélica. Si bien permite superar ciertas limitaciones de esta lógica, no ofrece una resolución completa al problema del colapso de la función de onda ni a las implicaciones ontológicas que derivan de ello. La mecánica cuántica, tal como se comprende en la interpretación de Copenhague, sigue exigiendo un replanteamiento radical de nuestras nociones de causalidad, observación y realidad.

A lo largo de esta investigación, hemos explorado el complejo diálogo entre la interpretación de Copenhague de la mecánica cuántica y la filosofía aristotélica, abordando las profundas implicaciones ontológicas y epistemológicas que surgen cuando se enfrenta la lógica clásica con los fenómenos cuánticos. A través de este análisis, se destacó cómo la física cuántica, con sus principios de indeterminación y superposición, desafía los tres principios fundamentales de la lógica aristotélica: identidad, no contradicción y tercero excluido. En conclusión la física cuántica requiere de un nuevo tipo de lógica, donde las contradicciones pueden coexistir y ser resueltas a través de la medición y la observación. El colapso de la función de onda es solo uno de los ejemplos que nos lleva a esta conclusión, demostrando que lo potencial y lo actual no son opuestos irreconciliables, sino aspectos complementarios de la realidad.

## **Bibliografía**

- Clemente de la Torre, Alberto. *Física cuántica para filósofos*. México: FCE, 2022.
- Aristóteles. *Metafísica*. Madrid: Alianza, 2014.
- Cline, Barbara Lovett. *Los creadores de la nueva física*. México: FCE, 2018.
- Jiménez, Roberto. *Schrödinger: creador de la mecánica ondulatoria*. México: FCE, 2018.
- Freire, Olival J. R. *The Oxford Handbook of the History of Quantum Interpretations*. Oxford: Oxford University Press, 2022.
- David Z Albert. *Quantum Mechanics and Experience*. England: Harvard University Press, 1994.
- Bohr, Niels. *Atomic Theory and the Description of Nature*. Cambridge: Cambridge University Press, 1934.
- Heisenberg, Werner. *Physics and Philosophy: The Revolution in Modern Science*. New York: Harper Perennial, 2007.
- De Broglie, Louis. *The Revolution in Physics*. New York: Noonday Press, 1953.
- Bitbol, Michel. *Schrödinger's Philosophy of Quantum Mechanics*. Berlin: Springer, 1996.

Priest, Graham. *In Contradiction: A Study of the Transconsistent*. Oxford: Oxford University Press, 2006.