

**EL ESTUDIO DE LA RELACIÓN FENÓMENO-OBSERVADOR COMO
PARTE FUNDAMENTAL DEL CONOCIMIENTO Y SUS
IMPLICACIONES EPISTÉMICAS: UN DIÁLOGO ENTRE LA FÍSICA
CUÁNTICA Y LA FILOSOFÍA**

Trabajo para optar al título de
Licenciada en Filosofía

Presentado por

Paulina Alexandra Cuenca Silva

Cod: 2021132011

Director

Carlos Alberto Cortés Pachón

Universidad Pedagógica Nacional

Facultad de Humanidades

Departamento de Ciencias Sociales

Licenciatura En Filosofía

Bogotá D.C 2026

Agradecimientos

Este trabajo está elaborado en agradecimiento a cada uno de los docentes que me apoyaron en el proceso, por ver luz en momentos en los cuales yo llevaba una venda ; a mis compañeros que me escucharon a través de interminables tertulias entre pasillos, por las risas y opiniones que se transformaron en motivación para enfrentar el día a día; finalmente, le agradezco a Carluchos, porque más allá de un docente, fue un parcerero y un apoyo sin esperar nada a cambio.

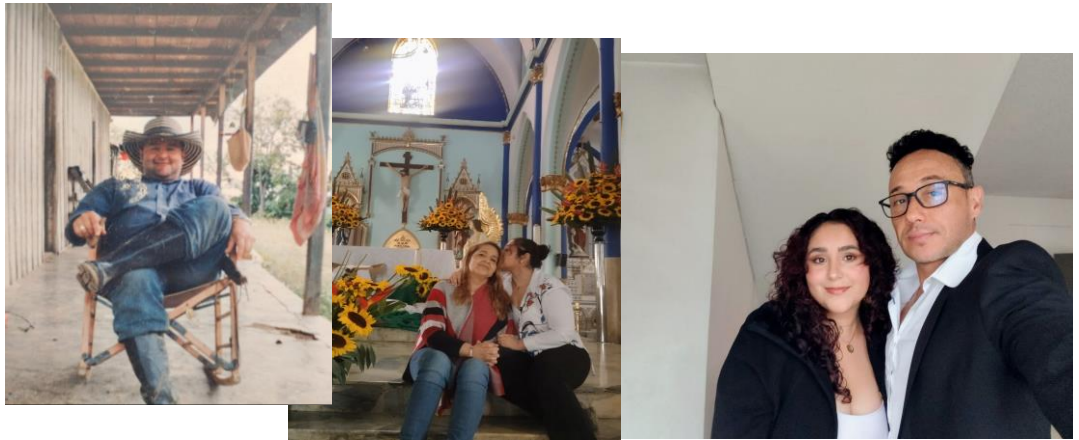
Dedicatoria

El presente trabajo se encuentra dedicado en primer lugar a mi padre, por enseñarme el valor de los libros y la lectura. Estoy segura de que en lo más profundo de mi alma sigo siendo esa niña que se enamoró del conocimiento gracias a un padre que, a pesar de todos los demonios que lo atormentaban, le logró mostrar todo un mundo de bondad y sabiduría a través de los libros, de la palabra, y de las risas. Hoy, a pesar de que no eres el mismo, de que la propia vida te ha consumido. Sé en el fondo de mi corazón que ese buen hombre sigue ahí, y espero pronto volverlo a ver.

En segundo lugar, le agradezco a mi mamá por su fortaleza en todo este proceso. Por todo el sacrificio que ha significado nuestra tranquilidad, porque sé que cada día que pasas es una lucha y un grito por la vida misma. Gracias por cada palabra bonita, cada capricho que has cumplido, y cada cafecito sobre el escritorio en noches interminables de escritura. Eres la prueba de que el amor también se muestra en el cuidado, con actos que no median mayor palabra, pero dejan huella en el corazón.

Por último y no menos importante, le agradezco a mi pareja, Alejandro. Quien me ha demostrado que mis palabras y pensamientos son valiosos. Gracias por haberme hecho sentir escuchada, a pesar del ruido que hay en el mundo y la hostilidad que este conlleva, desde el principio siempre nos encontramos el uno al otro. Porque el

amor da perspectiva y sana el corazón. Agradezco tus historias cargadas de resiliencia, las cuales, han hecho que sea más amable con el proceso. No sé qué habría sido de mí en este trabajo, de no ser por tus charlas y cuidados.



RESUMEN

Esta tesis explora las implicaciones epistemológicas de la relación entre fenómeno y observador en la física cuántica, a través de la interpretación de Copenhague, enriquecida por una relectura kantiana. El objetivo general es estudiar cómo esta relación desafía las nociones clásicas de realidad objetiva, enfatizando el rol activo del observador en la constitución del conocimiento. Partiendo de conceptos clave como el colapso de la función de onda, la dualidad onda-partícula y el principio de complementariedad propuestos por Bohr y Heisenberg, se analiza cómo los fenómenos cuánticos dependen de la medición, cuestionando la independencia del mundo frente al sujeto.

Desde la perspectiva kantiana, se examina la distinción entre fenómeno (accesible mediante estructuras *a priori* de la mente, como espacio, tiempo y categorías) y *númeno* (inaccesible), estableciendo paralelos con la realidad relacional y contextual de la cuántica. Los objetivos específicos incluyen un análisis de la problemática en ambos campos, la identificación de aportes mutuos para comprender esta relación y la detección de problemas epistemológicos como los límites de la objetividad y la naturaleza probabilística de la realidad. Mediante un enfoque teórico-analítico y comparativo, basado en análisis bibliográfico de textos fundacionales (Crítica de la razón pura de Kant, obras de Bohr y Heisenberg), se busca un diálogo interdisciplinario que revele cómo el conocimiento emerge de la interacción sujeto-objeto.

Palabras clave: relación fenómeno-observador, interpretación de Copenhague, filosofía trascendental kantiana, epistemología, construcción del fenómeno, objetividad científica, principio de complementariedad, mecánica cuántica, diálogo interdisciplinario.

ABSTRACT

This thesis explores the epistemological implications of the relationship between phenomenon and observer in quantum physics, through the Copenhagen interpretation, enriched by a Kantian rereading. The general objective is to study how this relationship challenges classical notions of objective reality, emphasizing the active role of the observer in the constitution of knowledge. Drawing on key concepts such as wave function collapse, wave-particle duality, and the principle of complementarity proposed by Bohr and Heisenberg, the analysis examines how quantum phenomena depend on measurement, thereby questioning the independence of the world from the subject.

From a Kantian perspective, the distinction between phenomenon (accessible through *a priori* structures of the mind, such as space, time, and categories) and noumenon (inaccessible) is examined, establishing parallels with the relational and contextual reality of quantum mechanics. The specific objectives include an analysis of the problematic in both fields, the identification of mutual contributions to understanding this relationship, and the detection of epistemological problems such as the limits of objectivity and the probabilistic nature of reality. Through a theoretical-analytical and comparative approach, based on bibliographic analysis

of foundational texts (*Critique of Pure Reason* by Kant, and the works of Bohr and Heisenberg), the study seeks an interdisciplinary dialogue that reveals how knowledge emerges from the subject-object interaction.

Keywords: phenomenon-observer relationship, Copenhagen interpretation, Kantian transcendental philosophy, epistemology, construction of the phenomenon, scientific objectivity, principle of complementarity, quantum mechanics, interdisciplinary dialogue.

ÍNDICE

Introducción.....	10
Capítulo 1: el fenómeno y el observador, una relación fundamental desde la interpretación de Copenhague.....	16
1.1: Problemática onda-partícula e inicios de las problemáticas que inspiraron el surgimiento de la Interpretación de Copenhague.....	16
1.2: La concepción de fenómeno en la física clásica y cuántica, una ruptura histórica con la física newtoniana. La disrupción de la mecánica cuántica.....	24
1.3: Principio de incertidumbre y principio de correspondencia, ¿Cómo se instancian los límites del sujeto y el observador desde la cuántica?.....	35
a) Principio de incertidumbre.....	35
b) Principio de complementariedad.....	39
Capítulo 2: La relación fenómeno-observador desde una postura kantiana.....	44

2.1: La construcción activa del fenómeno y del conocimiento: el entendimiento y las categorías en la filosofía trascendental de Kant.....	45
2.2 Las categorías del entendimiento, fenómeno, y sujeto legislador.....	46
2.3 la construcción del fenómeno, y sus consecuencias epistemológicas alrededor de la unificación.....	52
2.4: Distinción <i>númeno</i> y fenómeno.....	60
Capítulo 3: Diálogo entre la filosofía trascendental de Kant y la interpretación de Copenhague: la construcción del fenómeno y los límites epistemológicos del conocimiento.....	63
3.1 ¿Qué significa conocer?: La tensión entre construcción y descubrimiento de la realidad.....	63
3.2 Lo cognoscible, lo incognoscible y lo pensable: un problema epistemológico en el diálogo entre la filosofía trascendental de Kant y la interpretación de Copenhague.....	70
3.3El fenómeno como dominio de lo cognoscible: la construcción categorial.....	71
3.4 Lo pensable: el espacio de la razón más allá del entendimiento.....	77

3.5 Consideraciones finales.....	82
----------------------------------	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ilustración del experimento de interferencia con balas.....	20
Figura 2. Ilustración del experimento de interferencia con electrones, con intervención en una de las rendijas.....	20
Figura 3. Ilustración del experimento de interferencia con ondas de agua.....	21
Figura 4. Ilustración del experimento de interferencia de electrones.....	22

INTRODUCCIÓN

La física cuántica es un campo que desde sus inicios se ha mostrado revolucionario entre los académicos de diversas áreas. La física moderna muestra cambios fuertes en el pensamiento debido a diversos postulados que surgen precisamente de la teoría cuántica. Entre 1900 y 1927 un grupo de físicos entre los que se encuentran M. Planck, A. Einstein, L. de Broglie, E. Schrodinger, N. Bohr, M. Born y W. Heisenberg, entre otros, muestran una nueva perspectiva frente a la interpretación de los fenómenos físicos en el ámbito cuántico. Dentro de este campo, estos experimentos que se enfocan en el estudio del mundo cuántico terminaban arrojando resultados con múltiples variaciones en diferentes casos. Una problemática que conmocionó al mundo académico gira en torno al comportamiento de la luz, el cual se ponía en cuestión a partir del experimento de

doble rendija: en el cual, la luz se comportaba como una onda y como una partícula al tiempo dependiendo de la presencia del observador.

Estos estudios causaron revuelo durante casi dos décadas y aún siguen siendo tema de discusión. A raíz de todo el movimiento intelectual alrededor de estos acontecimientos, surge durante la década de los veinte la interpretación de Copenhague, la cual fue en su mayoría construida y fundamentada por Niels Bohr y Werner Heisenberg. La interpretación de Copenhague surge como una guía científica, epistemológica y filosófica frente a la manera en la que nos dirigimos al estudio de los fenómenos cuánticos. Aquí surge el colapso de la función de onda, en la que parece que el sistema cuántico ‘elige’ una forma de manifestarse y se altera de una forma definida ante la presencia del observador en el proceso de la medición. Antes del colapso, no se puede decir que la propiedad exista con un valor definido. Teniendo en cuenta lo anterior, la interpretación de Copenhague sostiene los siguientes puntos:

- Existe un protagonismo del observador y el objeto de medición dentro del proceso experimental frente a la manifestación de los fenómenos cuánticos.
- No se puede dar una predicción de ciertos fenómenos con total seguridad (algo que si es posible en las leyes de la física clásica).
- Los conceptos matemáticos y nuestro lenguaje no están adaptados al comportamiento del mundo cuántico.
- Pareciera que nuestra mente tiene dificultades para poder comprender las leyes del mundo cuántico.

Las afirmaciones anteriores representan una revolución para el mundo de la ciencia, y para el mundo de la filosofía. Heisenberg, en su obra “Física y filosofía”(1958) se pregunta si es posible que la naturaleza sea tan absurda como se nos aparece a nosotros en los experimentos atómicos. Esta puede ser una pregunta que resulte muy general y superflua, pero realmente desencadena muchas problemáticas a nivel filosófico, la cuestión frente a nuestra imposibilidad de comprender completamente las leyes del mundo cuántico termina reflejando esos límites que tenemos frente al acceso del mundo. Heisenberg en esta obra dirige las problemáticas que muestra la interpretación de Copenhague en un tono mucho más filosófico: no está enfocado en el comportamiento del mundo en sí mismo como algo completamente accesible, sino que la problemática va dirigida a las maneras en las que el ser humano se relaciona con el mundo, y cómo podemos comprender aquello que llamamos fenómeno desde el interrogante por lo desconocido a nivel conceptual.

[E]n lugar de interrogarnos: ¿Cómo puede expresarse una situación experimental dada con el formalismo matemático conocido?, deberíamos formularnos esta pregunta: ¿es cierto quizá, que solo pueden presentarse aquellas situaciones experimentales que pueden expresarse con el formalismo matemático? (W. Heisenberg, 1958, p. 30)

Con lo anterior no sólo preguntamos por el comportamiento del mundo, sino por los límites de nuestro conocimiento acerca de él. Por este motivo, a partir de las

problemáticas que presenta la interpretación de Copenhague, este trabajo girará en torno a cómo podemos comprender la relación fenómeno-observador y qué implicaciones tiene en el campo epistemológico respecto a los límites de nuestro conocimiento. En el ámbito de la filosofía, la labor de Kant constituye un aporte relevante para establecer dichos límites de los que estamos tratando.

Para desarrollar este interrogante, me centraré, en primer lugar, en “La crítica de la razón pura” donde el autor aborda el asunto de interés, donde Kant delimita el fenómeno como “el objeto indeterminado de una intuición empírica” (Kant, 1781/1787/1997, B34/ A20). El fenómeno se muestra como esa aparición que es captada por el orden mental y físico del ser humano. En esta diferenciación que surge entre el *númeno* y el fenómeno encontramos que el conocimiento humano no puede verse dirigido a la cosa en sí. Todo lo cognoscible está intercedido por diversos factores como la sensibilidad y el mismo orden del entendimiento, pues, “los principios del entendimiento puro no son otra cosa que principio *a priori* de la posibilidad de la experiencia” (Kant, 1787/1997, B294). Desde Kant encontramos un panorama que se preocupa por aquellos límites desde las posibilidades del entendimiento y cómo el conocimiento no puede ser pensado como algo externo e independiente de lo mental. La manera en la que el sujeto se relaciona con el mundo constituye los principios de lo que podemos conocer y de lo que podemos catalogar como fenómeno: aquello que se manifiesta y que el sujeto puede ordenar desde sus propias facultades.

En segundo lugar, me enfocaré en la fuerte conexión que guarda la interpretación de Copenhague con el enfoque Kantiano, al tener preocupaciones similares acerca

de la manera en la que construimos conocimiento. Desde la física encontramos un malestar por aquello que no puede estar del todo determinado y que nuestra mente parece no captar. Heisenberg, en “Física y filosofía” (1958), encuentra en este malestar cosas mucho más profundas: primeramente, estamos problematizando el rol del observador dentro del contexto experimental, podemos ver que en la cuántica existen dificultades frente al lenguaje y los conceptos clásicos que no logran adaptarse al comportamiento cuántico, lo cual representa una dificultad para que podamos comprenderlo. En este punto, encontramos nuevamente una conexión con Kant (de hecho, esta obra de Heisenberg tiene bastante influencia de Kant y Aristóteles), en la que el observador y sus facultades están interviniendo desde un principio. Pensemos nada más en el objeto de medición: esto ya representa un intento de organizar aquello que se manifiesta en el mundo desde los límites y punto de referencia de nuestras propias facultades. El observador hace que los resultados sean variantes porque la forma que se ha concebido es pura intervención del mismo.

En tercer lugar, me concentraré en crear un diálogo entre todas las problemáticas que se rastrearon a lo largo del recorrido de los dos primeros capítulos. En este punto, mi objetivo es cerrar el diálogo haciendo hincapié en la pregunta problema planteada para este trabajo de grado: Desde la física cuántica y la filosofía: ¿Cómo puede ser comprendida la relación fenómeno-observador y que implicaciones tiene en términos epistemológicos? Sabemos que esta es una pregunta que va a guiar todo el trabajo, pero mi interés en el tercer apartado del trabajo es volver a ella desde un recorrido que la ha demarcado constantemente con anterioridad. En este

punto, y a modo de conclusión, sintetizamos a completitud las propuestas que la filosofía y la ciencia tienen para ofrecer respecto a la pregunta guía. Una síntesis que, en últimas, va a apuntar a un reconocimiento de una relación interdependiente del sujeto con el fenómeno, en la que los límites de conocimiento se contienen en esa propia interacción. Todo esto desde un enfoque epistemológico.

Capítulo 1: el fenómeno y el observador, una relación fundamental desde la interpretación de Copenhague

En este primer apartado, el texto se centra en hacer un estudio de las propuestas fundamentales que contiene la interpretación de Copenhague respecto a la relación fenómeno-observador. Para realizarlo, el capítulo dispone de tres apartados, en los que se expondrán los casos problemáticos, principalmente el comportamiento ‘inusual’ de los sistemas cuánticos en experimentos como el de ‘doble rendija’. Los cuales, generaron una ruptura con la historia que llevaba el campo de la física hasta el siglo XX. Lo anterior, con el objetivo de analizar las consecuencias epistemológicas y la manera en la que diversos conceptos dentro del campo empiezan a dotarse de un contenido diferente a partir de que lo que ciertos casos experimentales sugerían en ese momento, generando todo un estudio teórico revolucionario en el campo de la física. Los principios y propuestas expuestos en este apartado inciden directamente en la manera de concebir la relación fenómeno-observador a nivel científico y filosófico. En este capítulo, se abre el análisis y

desarrollo de estas consecuencias epistemológicas, las cuales serán motivo de discusión a lo largo de todo el trabajo de grado.

1.1 Problemática onda-partícula e inicios de las problemáticas que inspiraron el surgimiento de la Interpretación de Copenhague

La Interpretación de Copenhague representa uno de los pilares fundamentales de la mecánica cuántica, emergiendo como el marco ortodoxo para entender los fenómenos subatómicos durante la década de 1920 (aunque la física cuántica tiene un recorrido histórico un poco más antiguo con exponentes como Planck y Rutherford). Esta teoría fue desarrollada principalmente por Niels Bohr y Werner Heisenberg, con contribuciones de otros físicos como Max Born y Erwin Schrödinger. De hecho, esta interpretación se concibe como uno de los primeros intentos por comprender el mundo atómico, lo cual, hace que sus mayores exponentes anteriormente mencionados, hagan parte de los pioneros en la exploración y surgimiento de este campo. La interpretación de Copenhague marca un quiebre radical con la física clásica newtoniana, debido a un abandono del determinismo estricto en favor de un enfoque probabilístico y complementario. ¿A qué se refiere esto? La física clásica que dominaba en esta época casi todos los criterios de la física se componía por un determinismo en los hechos del mundo. En el cual, el enfoque predictivo era fundamental para que una teoría fuera validada. Además, todo hecho físico tenía que ser descrito en términos del lenguaje y los parámetros del comportamiento de los fenómenos establecidos en la física clásica.

Teniendo en cuenta lo anterior, para comprender la interpretación de Copenhague, es necesario volver al siglo XX, cuando la física atómica enfrentaba paradojas que no podían ser descritas alrededor de un lenguaje dentro del marco clásico. Mehra, en “Niels Bohr’s Discussions with Albert Einstein, Werner Heisenberg, and Erwin Schrödinger: The Origins of the Principles of Uncertainty and Complementarity. Foundations of Physics”, proporciona un relato detallado de este período, destacando figuras como Niels Bohr, desde su instituto en Copenhague, se convirtió en el epicentro de estas discusiones frente al descubrimiento del mundo cuántico y sus comportamientos. ¿Cuáles fueron aquellos sucesos del mundo cuántico que se apoderaban de la atención de los intelectuales? Es fundamental, para comprender uno de los debates más acalorados, poner a colación la influencia de experimentos como el de la doble rendija, en el cual se introduce realmente la problemática acerca del debate del comportamiento de onda- partícula en la luz.

El experimento de doble rendija surge en sus primeras visiones como un experimento imaginario o Gedankenexperiment¹. El experimento originalmente es de Young², pero para reconstruirlo me voy a basar en Richard Feynman³, quien

¹ Se trata de un experimento mental que se usa como recurso para imaginar situaciones experimentales y sus resultados probabilísticos acerca de ciertos fenómenos de la naturaleza, en véase más a fondo en el texto: “La observación en la palabra: La función de los experimentos imaginarios en el desarrollo de la física cuántica” (Ruiz, 2012, pp. 25-33)

² Thomas Young se reconoce como el creador del experimento de doble rendija, un experimento de laboratorio dedicado a la observación de la naturaleza ondulatoria de la luz. Estas afirmaciones son mencionadas y desarrolladas por Cadenas Gómez en “Epistemología, ontología y complementariedad en Niels Bohr”, cap. 2, sección 2.2, apartado a, p.73,

³ Más específicamente en el apartado “amplitudes de probabilidad”, cap. 3, p. 51-56.

comienza con un arreglo básico: una fuente de partículas (en este caso, electrones) es emitida hacia una pared con dos rendijas estrechas, detrás de la cual se coloca un detector o pantalla que registra las llegadas (aquí ya se está involucrando todo un sistema de medición). Si se cierra una rendija, los electrones se comportan como partículas balísticas, lo que conforma un patrón concentrado frente a la rendija abierta, como si fueran proyectiles disparados por un cañón. En la figura 1, se encuentra una ilustración del experimento imaginario con balas provenientes de una ametralladora que las dispara de forma azarosa. Después, se estudia la manera en la que los impactos se revelan en la placa o pantalla, analizando el movimiento que se muestra naturalmente por la composición de las mismas. En la figura 2, se muestra el comportamiento de las partículas cuando se cierra una rendija, es notable que el comportamiento de las balas y los electrones es idéntico en este caso.

Figura 1.

Ilustración del experimento de interferencia con balas

Gun = ametralladora
Wall = pared
Backstop = pantalla
Movable detector = detector móvil

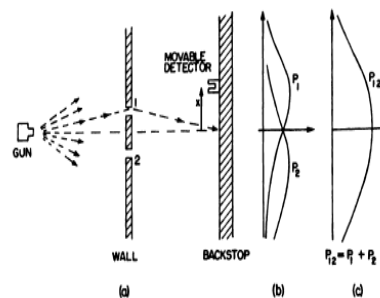


Fig. 1-1. Experimento de interferencia con balas.

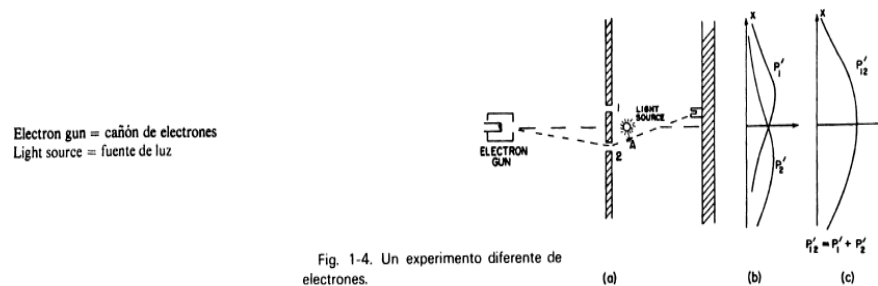
Fig. 1-1. Interference experiment with bullets.

Nota. La ilustración representa el comportamiento de las balas expulsadas de manera azarosa por una ametralladora hacia una placa que está mediada por una pared con dos aberturas. Tomado de

“Física: Volumen III. Mecánica cuántica” (p.23). por Feynman, 1971, Fondo Educativo Interamericano.

Figura 2.

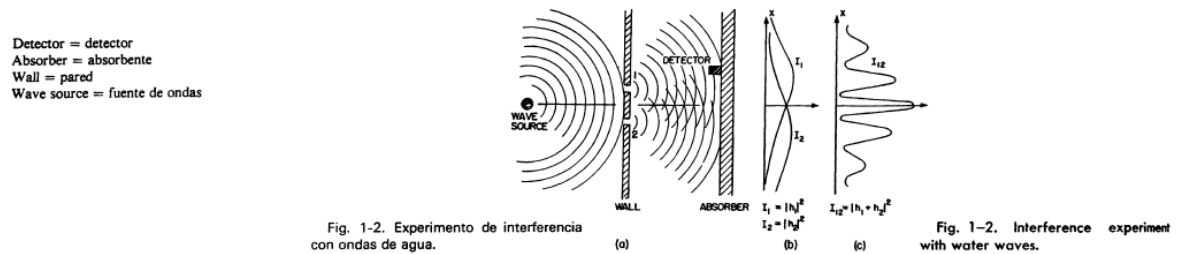
Ilustración del experimento de interferencia con electrones, con intervención en una de las rendijas



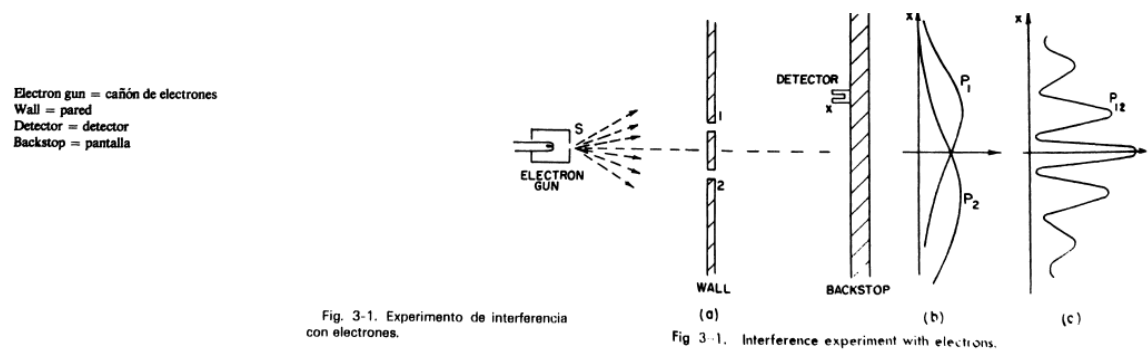
Nota. La ilustración representa el comportamiento de los electrones expulsados de manera azarosa por un cañón de electrones hacia una placa que está mediada por una pared con dos aberturas. Tomado de “Física: Volumen III. Mecánica cuántica” (p.29). por Feynman, 1971, Fondo Educativo Interamericano.

Sin embargo, al abrir ambas, surge el misterio que ha desarrollado innumerables debates: en lugar de dos patrones superpuestos, aparece un patrón de interferencia, con franjas alternas de alta y baja densidad, muy similar al que producirían ondas de agua o luz. Esta configuración, muestra cómo la probabilidad de llegada no es la suma de caminos independientes, sino el resultado de amplitudes que se interfieren.

Para lograr ilustrar tal similitud en el comportamiento, la figura 3 y la figura 4 serán de gran ayuda:

Figura 3.*Ilustración del experimento de interferencia con ondas de agua*

Nota. La ilustración representa el comportamiento de las ondas de agua generadas a partir de una fuente de ondas hacia una placa que está mediada por una pared con dos aberturas. Tomado de “Física: Volumen III. Mecánica cuántica” (p.23). por Feynman, 1971, Fondo Educativo Interamericano.

Figura 4.*Ilustración del experimento de interferencia de electrones*

Nota. La ilustración representa el comportamiento de los electrones expulsados de manera azarosa por un cañón de electrones hacia una placa que está mediada por una pared con dos aberturas. Con la diferencia, de que en esta ocasión hay un detector en la placa. Tomado de “Física: Volumen III.

Mecánica cuántica” (p.52). por Feynman, 1971, Fondo Educativo Interamericano. Ilustración del experimento de interferencia de electrones.

En esencia, este experimento funciona porque las partículas cuánticas existen en un estado de posibilidad hasta la medición. Feynman lo enfatiza: “si no observamos, la onda de probabilidad interfiere consigo misma, creando patrones que desafían la lógica clásica” (Feynman. 1971, p. 56), aunque el comportamiento de la luz sigue mostrándose de manera corpuscular. Por otra parte, cuando interfiere algún objeto de medición o un proceso que involucre un observador, hay un colapso de onda en una partícula localizada, destruyendo la interferencia.

De hecho, tal acontecimiento generó un acalorado debate alrededor de este tipo de experimentos imaginarios. Lo que, en últimas, provocó la aparición de nuevas formulaciones dentro del campo de la mecánica cuántica por Heisenberg y la mecánica ondulatoria por parte de Schrödinger, las cuales marcaron el inicio formal del campo de la física cuántica y los estudios en Copenhague. Mehra señala que, en el verano de 1926, Max Born propuso la interpretación estadística de la función de onda, afirmando que $|\psi|^2$ representa la probabilidad de encontrar una partícula en un estado dado, no una descripción determinista. En ese sentido la teoría constituía un carácter probabilístico y un comportamiento de los fenómenos que no podían ser definidos desde un lenguaje y unos parámetros pertenecientes a la física newtoniana. El fenómeno no podía ser visto como un hecho aislado y con un comportamiento sistemático en términos de las leyes que ya se conocían en ese momento.

La función Ψ de Schrödinger es una ecuación que representa la base para calcular probabilidades de encontrar partículas en ciertas posiciones o estados, Cadenas lo describe de la siguiente manera:

La ecuación diferencial de Schrödinger, las cuales describen en términos ondulatorios la evolución del sistema micro físico. El hecho de que esta ecuación describa los objetos cuánticos en términos ondulatorios implica que su localización espacial no será puntual, sino que abarcará una determinada región del espacio entre la que se dispersa su posición. Es una función compleja, ya que contiene dos tipos de información: una relativa a la localización y la otra acerca de la energía (Cadenas, 2004, p. 98)

En síntesis, el colapso de función de onda se da cuando dos observaciones que siguen de forma válida la ecuación de Schrödinger cambian abruptamente su comportamiento al tener contacto con algún tipo de medición. El problema de la función Ψ surge cuando hay una intervención del observador por medio de la medición del fenómeno cuántico que se está dando en el momento, en el caso del experimento de doble rendija el detector de electrones (en este caso este es el instrumento de medición y representa una intervención del observador en el fenómeno) altera la manifestación del fenómeno, el cual sería el electrón y su patrón de comportamiento en la placa. Cadenas, explica brevemente el problema que surge desde la dependencia de la observación:

Teniendo en cuenta que sólo podemos atribuir una exacta localización espacial al sistema a través de una medición y que la observación que nos permite conocer aquélla es la que destruye la posibilidad de conocer cómo evolucionará el sistema, ambas informaciones se vuelven incompatibles por no poder ser conocidas simultáneamente acerca del mismo sistema. Pues, una vez que hemos conocido la localización del objeto, se produce la reducción del paquete de ondas, que conlleva la invalidez de la ecuación que utilizamos antes de la medición al modificar la evolución del sistema, con lo cual necesitamos otra ecuación, que expresa otra evolución diferente con su correspondiente superposición de estados.

(Cadenas, 2004, p. 99)

Cadena, expone en este y otros apartados de su trabajo doctoral “Epistemología, Ontología y complementariedad en Niels Bohr” que la intervención del observador reduce las posibilidades del fenómeno a la hora de retratarla, pero sigue sin obedecer la ecuación de Schrödinger, porque los estados siguen siendo sumamente variables y el hecho de intervenir en la manifestación de los fenómenos genera este colapso en el comportamiento. Lo interesante de este caso en particular, es que el componente que genera el colapso es directamente la medición o estado de observación, mientras que otros factores no parecen generar estos comportamientos en el fenómeno. Por lo cual, el problema en la dualidad onda-partícula demuestra el carácter fundamental de la intervención del sujeto en el mundo, en el que la observación humana delimita el propio conocimiento de los fenómenos. En el caso de la medición del cuanto, cada proceso de medición tendría que ser completamente independiente de cada observación. Lo anterior,

representa un evento que rompe con la mecánica newtoniana, debido a que parece casi imposible llegar a ecuaciones que logren determinar el comportamiento de cada uno de los fenómenos que poseen. La dualidad onda- partícula termina revolucionando la historia de la física.

1.2 La concepción de fenómeno en la física clásica y cuántica, una ruptura histórica con la física newtoniana. La disrupción de la mecánica cuántica

La mecánica newtoniana atañe a una visión en la que todo fenómeno es medible y determinable respecto a su comportamiento y categorización, esto debe lograrse dentro del proceso de medición. La física clásica en general construye una noción de mundo independiente en el cual el espectador puede interceder sin alterar las condiciones de la naturaleza. La física en general e históricamente se ha concebido como una ciencia que intenta describir la naturaleza, acercarse a ella para comprenderla. El fenómeno se entendía como un acontecimiento objetivo que ocurría en el mundo independientemente del sujeto que lo observaba. Se asumía que las propiedades de los sistemas físicos preexistían a la medición y que el papel del observador se limitaba a registrar, con la mayor precisión posible, una realidad ya constituida. Esta concepción profundamente ligada al ideal newtoniano presuponía una separación nítida entre el sistema observado y el aparato de medida, así como la posibilidad de una descripción exhaustiva en el espacio y el tiempo. La mecánica cuántica, y de manera particular la interpretación de Copenhague, somete esta imagen a una revisión radical.

Según esta interpretación, el fenómeno cuántico no es una propiedad intrínseca del sistema que el experimento se limita a revelar. Por el contrario, el fenómeno solo adquiere determinación concreta en el momento de la interacción con el dispositivo experimental. Tal como retrata Cadenas en su estudio sobre Bohr, la noción de fenómeno en la física cuántica está indisolublemente ligada a la teoría de la medida: no existe un fenómeno independiente de las condiciones bajo las cuales es observado (Cadenas Gómez, T27024). Bohr insistía en que la descripción de cualquier experiencia cuántica exige la especificación completa del arreglo experimental, porque solo en relación con ese arreglo el sistema se manifiesta de una manera definida. El fenómeno, por tanto, no es algo que el observador encuentra, sino algo que se constituye en el acto mismo de la observación. El fenómeno cuántico es, en última instancia, el límite de lo que puede ser objetivado dentro de un marco experimental dado. El fenómeno cuántico no es una cosa, sino un acontecimiento: el acontecimiento de la medición bajo condiciones determinadas. Esta reformulación del concepto de fenómeno constituye uno de los legados epistemológicos más profundos de la mecánica cuántica. Al desplazar el protagonismo de una realidad preexistente e independiente hacia la relación entre sistema y aparato, la interpretación de Copenhague obliga a repensar qué significa ‘conocer’ en física y hasta qué punto la objetividad científica puede desligarse de las condiciones bajo las cuales el fenómeno se hace manifiesto.

La línea de pensamiento newtoniana se ha caracterizado por el “desarrollo de los métodos para tratar los problemas mecánicos ha ido emparejado con el de la

evolución del análisis matemático” (Bohr, 1988, p. 72). En ese sentido, la historia de la física desde el enfoque establecido por Newton se ha caracterizado por un determinismo en el que nuestra semántica y lenguaje matemático debe ser capaz de contener la manifestación de los fenómenos. O sea, la pretensión de esta línea de la física es poder delimitar todas las posibilidades de la naturaleza en nuestro lenguaje. Cadenas ofrece una breve descripción acerca de este asunto:

Así, se llamó ‘mecánica newtoniana’ o ‘clásica’ a la teoría que describe el movimiento de estos cuerpos materiales en el marco espacio-temporal y su evolución dinámica, y que, en principio, permite el estudio de todos los movimientos de los objetos macroscópicos a velocidades ordinarias. Pero, además, la mecánica newtoniana se basa, como el resto de las teorías clásicas, incluida la teoría electromagnética, en el paradigma del racionalismo científico, que brotó a partir del siglo XVI con la finalidad de construir un ideal descriptivo y explicativo de la realidad objetiva.

(Cadenas, Y., 2004, p. 10)

La mecánica newtoniana obedece a un enfoque epistemológico en el que la naturaleza obedece un orden racional. En el que el ser humano debe poseer la capacidad de describirlos, la experiencia y el conocimiento terminan siendo completamente descriptivos. Es decir, el conocimiento del mundo está mediado por una descripción de los hechos que sean los más apegados a los mismo (de por sí esta presunción de lo que es el fenómeno y la manera en la que accedemos a él ya es problemática). El fenómeno se delimita como el objeto determinado en un

comportamiento corpuscular, es decir, que puede ser ubicado en un espacio y tiempo determinados. Estos postulados determinan, no sólo los fenómenos, sino que determinan lo que es el conocimiento, lo que concebimos como un objeto y los límites categoriales del pensamiento frente al mismo. En el esquema de la física newtoniana se defiende un papel pasivo del sujeto frente al mundo, en el que la observación es un proceso en el cual se logra captar en su totalidad un hecho. De esta manera el lenguaje del sujeto debe ser capaz de capturar el comportamiento de la naturaleza.

En este punto es importante recalcar lo problemático que resulta este enfoque alrededor del pensamiento científico en el campo de la física. Según este enfoque, se asume una total transparencia entre el sujeto y el mundo que percibe, ¿por qué? En primer lugar, se da por hecho que el sujeto es capaz de captar en su totalidad cada elemento que conforma la naturaleza desde su comportamiento. Es decir, el sujeto tiene capacidad de comprender en su totalidad el mundo desde su propio lenguaje y su experiencia desde su involucramiento dentro del proceso experimental. En este punto, ya es bastante problemática la forma en la que la noción de experiencia resulta sumamente superficial, se da por hecho que el mundo se muestra de manera total ante el sujeto, se asume que el ser humano está inmerso en la verdad desde el propio hecho, o sea, la naturaleza contiene verdad y el sujeto la capta.

En segundo lugar, otro supuesto que intercede en la construcción de esta corriente es el supuesto de que ya existe una objetividad contenida en el propio fenómeno, en el que el comportamiento de cada cosa que conforma el mundo es capaz de ser

delimitada por medio de una accesibilidad que también se otorga de forma casi arbitraria. El mundo se da por sentado en su totalidad, y en esa pasividad que ya ha sido mencionada, el pensamiento se limita a “traducir” un hecho material al lenguaje, el pensamiento se ve limitado y la carga se da hacia el fenómeno casi en su totalidad, ¿cómo sabemos en qué momento le atribuimos al mundo cierto contenido? ¿Hasta qué punto la carga del conocimiento está contenida en los propios objetos de la naturaleza? De esta manera, se crea una ruptura respecto al propio pensamiento del sujeto, en el que no se reconocen los límites de la influencia del mundo sobre el individuo y se desconoce la influencia activa del sujeto sobre la manifestación de los fenómenos.

Esta problemática se hace más evidente con experimentos como el de la doble rendija, el problema del comportamiento de la luz frente a la dualidad onda-partícula representa una discordancia con los conceptos clásicos pertenecientes a la mecánica newtoniana a la cual se adapta todo un trabajo histórico en el campo de la física. Cadenas en “Epistemología, ontología y complementariedad en Niels Bohr”(2004) a lo largo del segundo capítulo⁴, retrata como los debates se intensificaron entre los años 1926-1927. En este punto Bohr estableció fuertes discusiones con Schrödinger durante su visita a Copenhague en otoño de 1926, en la cual Schrödinger defendía una interpretación realista de las ondas (en este punto seguía defendiendo la función de onda), por otro lado, Bohr insistía en la dualidad onda-partícula. En la primavera de 1927, Heisenberg, trabajando en Copenhague, expuso su principio de incertidumbre (en el cual vamos a enfatizar más adelante)

⁴ Véase con mayor especificidad en las pp. 27-42, 46-66 y 75-79.

usando la teoría de transformación de Dirac, Jordan y London. Este principio establece unos límites fundamentales a la medición simultánea de posición y momento de los cuerpos cuánticos⁵, rompiendo con la causalidad clásica nuevamente. Bohr, inspirado en estas ideas, anunció públicamente su principio de complementariedad. La complementariedad postula lo siguiente: aspectos mutuamente excluyentes de un sistema cuántico, como onda y partícula, son necesarios para una descripción completa, pero no pueden observarse simultáneamente.

Sin embargo, no es que ambas características no pertenezcan al objeto, sino que el fenómeno es variable, y esa variabilidad nos va a dar unos límites en los que la predicción es imposible dentro del proceso de medición. La primera pregunta que surge frente al comportamiento variable de la luz es la siguiente: ¿cómo es posible que no se logre adaptar la manifestación de un fenómeno a las normas que rigen el conocimiento? Heisenberg, en una de sus conferencias retrata ese tránsito que se da en el campo, en el que el entendimiento humano se ve truncado por normas en el comportamiento de la naturaleza que no logran encajar en el modelo clásico⁶. En consecuencia, estas normas que rigen el pensamiento humano no permiten una comprensión total del comportamiento cuántico, por lo cual, el lenguaje y el

⁵ Este principio y sus influencias en la teoría cuántica serán analizados con mayor profundidad en las páginas siguientes, más específicamente en el apartado a de la sección 1.3, pp. 33-37.

⁶ Se trata del texto “Sobre el Contenido Descriptivo de la Cinemática y la Mecánica Teórico Cuántica” (1927). El texto está dedicado en su totalidad a diversas refutaciones hacia los conceptos establecidos alrededor de la física clásica y propuestas de Schrodinger. Esto para reforzar el principio de incertidumbre, propuesto por el autor del mismo texto.

enfoque epistemológico perteneciente a la física newtoniana resulta insuficiente.

Tal como lo manifiesta Niels Bohr en una de sus obras:

Es consustancial a la naturaleza misma de la observación física que toda experiencia se exprese en última instancia en términos de los conceptos clásicos. Es, pues, una consecuencia inevitable del limitado rango de aplicabilidad de los conceptos clásicos que los resultados obtenidos en cualquier medida de cantidades atómicas estén sujetos a una inherente limitación (Bohr N., 1958, p.135)

Bohr y Heisenberg coinciden en este punto. Heisenberg, en su libro “Física y filosofía”(1958), reflexiona acerca de esta problemática, describiendo cómo la interpretación de Copenhague surgió de la necesidad de reconciliar experimentos contradictorios, como la difracción de electrones (onda) y el efecto fotoeléctrico (partícula). Él enfatiza en que esta interpretación no es una teoría adicional, sino una interpretación del formalismo matemático de la mecánica cuántica, desarrollada en colaboración con Bohr. Pues, toda esta propuesta está atravesada por una relación de incertidumbre, “debemos tener siempre presente esta limitación de los conceptos clásicos mientras los usamos” (Heisenberg, 1958, p.33). Sin embargo, los estudios en casos experimentales como el de la doble rendija han llevado a los científicos a pensar nuevamente el conocimiento de un hecho dentro de los límites probabilísticos, incluso cuando haya un conocimiento ‘total’ del sistema. En este caso, tales límites se trazan desde la propia observación, una cuestión que se reitera a lo largo del estudio del comportamiento cuántico.

En esencia, la interpretación de Copenhague no solo describe cómo se comportan las partículas cuánticas, sino que redefine la naturaleza misma de la realidad física, el conocimiento y la explicación científica. Como se detalla en las fuentes proporcionadas, esta interpretación surgió de intensos debates filosóficos y científicos, influenciados por discusiones entre Bohr, Einstein, Heisenberg y Schrödinger. Este campo tan joven y revolucionario nos hace pensar que aquello que llamamos fenómeno en algunos casos solo se termina reduciendo a un régimen probabilístico, “esta función de probabilidad representa una mezcla de dos cosas: en parte, un hecho, y en parte nuestro conocimiento de un hecho” (Heisenberg, 1958, p.34). El cálculo probabilístico que se maneja en estos casos es la función de onda propuesta por Schrödinger, la cual ha sido desarrollada con anterioridad. Debido a que esta no puede determinar por completitud la posición del cuanto es que se identifica el colapso de onda. Sin embargo, Max Born se encargó de defender que, a pesar de que no logra la exactitud que se busca desde el método clásico, sigue siendo una constante que se puede utilizar para recopilar información de cada uno de los fenómenos. De esta manera, el margen probabilístico es un primer paso para intentar comprender las leyes que gobiernan el sistema cuántico, tal como lo defiende Niels Bohr:

No cabe duda de que los fotones y las ondas materiales son un precioso expediente para la formulación de las leyes estadísticas que gobiernan fenómenos tales como el efecto fotoeléctrico o las interferencias de haces de electrones, pero, en realidad, esos fenómenos pertenecen a un dominio

en el cual es esencial tener en consideración el cuanto de acción y en el que es imposible una descripción inequívoca. En este sentido, el carácter simbólico de las ideas auxiliares de fotón y de onda material se manifiesta también en el hecho de que la descripción completa de los campos de ondas electromagnéticas no deja lugar alguno a los fotones y que, de la misma manera, la idea de onda material no proporciona nunca una descripción completa comparable a la de las teorías clásicas. En efecto, y según se hizo notar ya en el segundo artículo, el valor absoluto de la fase de las ondas no interviene, jamás, en la interpretación de las experiencias. A este respecto, es preciso señalar igualmente que la expresión «amplitud de probabilidad» utilizada para designar la amplitud de una onda material, forma parte de una terminología a menudo cómoda pero que no puede pretender una validez general. (Bohr N., 1988 p. 65)

El comportamiento de aquello que nos rodea es cada vez más variable en el caso de estos estudios, el fenómeno y lo que conocemos sólo puede reducirse a aquello observable y traducible en términos de nuestro propio lenguaje, porque todo lo que se manifiesta está mediado por un sujeto que lo percibe. Por lo cual aquello que llamamos fenómeno, cada vez se aleja más de los conceptos clásicos, aunque depende aún de ellos para que nuestra mente logre relacionarse con tales fenómenos. Aquella amplitud de probabilidad no solo se refiere a que hay una flexibilidad al recoger los resultados y notar cual es el comportamiento que predomina. El carácter probabilístico contiene un peso epistémico bastante fuerte, en el que la necesidad de recurrir a un método de cálculo de este tipo demuestra las

limitaciones del sistema clásico y de las pretensiones que el mismo contiene, en el que el conocimiento de los fenómenos se basa en la información que estos contienen a través de la propia experiencia. Bohr, expone que hay un límite en el que el sujeto no puede describir un hecho de manera universal desde un suceso aislado, sino que la repetición de los eventos en el encuentro de patrones desde el lente humano es lo que le puede llegar a dar mayor validez a un hecho. A raíz del comportamiento tan variable, Bohr se encargó de presentar dos características fundamentales dentro del sistema, los cuales resultan disruptivos frente a la tradición clásica:

1. Un sistema atómico posee una multiplicidad de estados posibles, los «estados estacionarios», que en general corresponden a una serie discreta de valores de la energía y que tienen una estabilidad particular, puesta de manifiesto porque toda variación de la energía de un átomo debe venir acompañada de una «transición» de éste de un estado estacionario a otro.
2. La posibilidad de que un átomo emita o absorba radiación está condicionada por las posibles variaciones de energía del átomo, de modo tal que la frecuencia de la radiación queda determinada por la diferencia de energía entre los estados inicial y final según la relación formal. (Bohr N., 1988, p. 78)

La interpretación de Copenhague se ha posicionado como una propuesta sólida dentro del campo de estudio cuántico, en el que se da cuenta de un comportamiento que no puede encajar completamente en el marco conceptual

determinado dentro del pensamiento clásico. La física cuántica ofrece escenarios en los que se reconoce la diversidad de factores que inciden en la manifestación de los fenómenos, reconociendo que existe un constante estado transitorio en el comportamiento de los átomos, p.e todo este estudio da algunas luces de la manera en la que los espacios experimentales que refieren al comportamiento de los átomos (un componente estudiado por la estabilidad que la misma muestra, por lo general) interactúan con la participación de un observador y las condiciones externas que posibilitan un suceso determinado. En esa variabilidad se encuentra también un afán por delimitar la interacción del observador y del fenómeno en términos epistemológicos, debido a que “mediante las limitaciones se evita la contradicción” (Heisenberg, 1958, p.38). Debe haber una limitación para que el lenguaje y la variabilidad del comportamiento de los fenómenos estén a favor del sujeto y no en su contra. Por este motivo, los siguientes dos apartados se van a concentrar en mostrar la problemática que surge desde el indeterminismo y los límites que se trazan poco a poco a partir de tal descubrimiento.

1.3: Principio de incertidumbre y principio de correspondencia, ¿Cómo se instancian los límites del sujeto y el observador desde la cuántica?

Para este punto, el objetivo es dar mayor protagonismo a dos principios fundamentales que hacen parte de la interpretación de Copenhague. En los apartados anteriores se ha mencionado las problemáticas principales y una presentación general de la interpretación (debido a que esta es un cúmulo de

principios que forman toda una teoría acerca del comportamiento cuántico).

Ahora, el objetivo es exponer dos principios que intentan dar cuenta de la necesidad de la limitación y comprensión de los roles que se instancian alrededor de la relación fenómeno-observador.

- a) **Principio de incertidumbre:** El principio fue derivado por Heisenberg, el cual, establece que existe un límite mínimo a la precisión con la que podemos conocer simultáneamente pares de variables conjugadas (propiedades relacionadas) de una partícula o sistema cuántico. A diferencia de las leyes newtonianas, donde la posición y la velocidad de una partícula podían determinarse con precisión arbitraria en cualquier instante, Heisenberg demostró que en el reino cuántico existen límites fundamentales e insuperables. Estos límites no provienen de imperfecciones instrumentales ni de errores humanos, sino de la estructura misma de la realidad. La famosa desigualdad:

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \hbar/2.$$

La fórmula está constituida de la siguiente manera⁷:

- Δx es la incertidumbre (desviación estándar) en la posición.
- Δp es la incertidumbre en el momento.

⁷ Dentro del trabajo está la explicación de manera más elemental, en el caso de que haya interés por una explicación más especializada, remitirse al texto: Medina C., (2011). *El indeterminismo y el principio de incertidumbre de Heisenberg*. Universidad Autónoma de Aguascalientes. (pp. 204-216)

- $\hbar$ (h-bar) es la constante de Planck reducida ($\hbar = h / 2\pi$, donde h es el cuanto de acción).
- El " $\geq$ " significa que el producto siempre es al menos ese valor; no puede ser cero.

En uno de sus artículos más importantes⁸ "Sobre el Contenido Descriptivo de la Cinemática y la Mecánica Teórico Cuántica" (1927), Heisenberg demostró que las variables canónicas conjugadas (como posición y momento) no pueden conocerse simultáneamente con precisión infinita y definitiva. Utilizando el formalismo matricial que él mismo había desarrollado, mostró que el producto de las incertidumbres debía satisfacer una relación matemática ineludible. La derivación parte de la no conmutatividad de los operadores cuánticos: en mecánica matricial, el orden en que se multiplican dos cantidades importa. Esto debido a que las magnitudes físicas se representan por matrices no conmutativas, la relación es la expresión matemática de que la naturaleza cuántica impone un límite al uso simultáneo de los conceptos clásicos de posición y momento. Por eso el entendimiento humano acostumbrado a la conmutatividad clásica se ve truncado, debido a que las 'normas' del comportamiento de la naturaleza en el dominio atómico ya no coinciden con las reglas del modelo clásico.

⁸ Heisenberg, W. (1927). *Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik* (O. A. Quispe, Trad.). *Sobre el Contenido Descriptivo de la Cinemática y la Mecánica Teórico Cuántica*. Academia.edu.

Esta no conmutatividad se traduce directamente en la desigualdad de incertidumbre. De esta manera, cualquier intento de localizar con precisión una partícula implica una dispersión en su velocidad, porque la función de onda que describe su estado se ‘ensancha’ en el espacio.

La ecuación impone la restricción de que, o nos damos cuenta del estado dinámico del sistema, sacrificando el conocimiento geométrico o posicional, o bien, accedemos a las variables geométricas o cinemáticas a cambio de renunciar a conocer el comportamiento cinético del objeto. (Medina, 2011).

Medina expone que el principio de incertidumbre no se inspira en una limitación netamente técnica. De hecho, es ontológica. En la física clásica, una partícula siempre tiene una trayectoria definida: en cualquier instante, posee una posición exacta y un momento exacto. La mecánica newtoniana permite, en principio, predecir el futuro completo del comportamiento del universo si se conocen las condiciones iniciales con precisión infinita. Heisenberg, generó una ruptura en esa ilusión desde la propia restricción que ejerce la ecuación. El principio de incertidumbre no es un ‘error de medición’ causado por el aparato dentro del contexto experimental, sino una propiedad intrínseca derivada del cuanto de acción⁹. El principio de incertidumbre se torna necesario, debido al principio de indeterminación, el

⁹ También llamado Wirkungsquantum en alemán. Es el concepto fundamental que dio origen a toda la mecánica cuántica. Fue introducido por Max Planck en 1900 y representa la unidad mínima indivisible de acción en la naturaleza.

cual emerge directamente de la estructura no conmutativa de la mecánica matricial, rompiendo fuertemente con la continuidad clásica.

En aplicaciones prácticas, el principio de incertidumbre ha demostrado ser extraordinariamente fértil. En química cuántica, explica la formación de enlaces moleculares, demostrando que los electrones no tienen órbitas definidas, sino nubes de probabilidad cuya extensión en posición y momento satisface la desigualdad. En la espectroscopia, determina el ancho natural de las líneas espectrales mediante la relación energía-tiempo. En la computación cuántica, la incertidumbre es la base de los qubits¹⁰, un qubit puede estar en superposición de estados 0 y 1 precisamente porque su posición (estado) y momento (evolución temporal) no pueden fijarse simultáneamente. En la microscopía de efecto túnel y en la imagen por resonancia magnética, se aprovecha la relación para lograr resoluciones imposibles clásicamente. Incluso en cosmología, la incertidumbre explica las fluctuaciones cuánticas que dieron origen a las estructuras del universo observable.

b) *Principio de complementariedad:* El principio de complementariedad de Niels Bohr, formulado en 1927, representa uno de los giros filosóficos y conceptuales más profundos en la historia de la física. No se trata simplemente de una regla técnica o de una limitación experimental más,

¹⁰ Un qubit es el átomo de la información cuántica. No es solo un 0 o un 1; es una entidad que puede estar en múltiples estados simultáneamente y entrelazarse con otros qubits, permitiendo cálculos de estado de superposición en contextos experimentales.

representa una declaración radical sobre la naturaleza misma de la realidad a escala atómica. Bohr sostuvo que ciertas propiedades o descripciones de los fenómenos cuánticos son mutuamente excluyentes en un mismo contexto experimental, pero al mismo tiempo complementarias, ¿Qué quiere decir esta afirmación? Bohr afirma que ambas son indispensables para lograr una comprensión completa del sistema, aunque nunca puedan manifestarse simultáneamente con precisión arbitraria. Esta idea, que surge directamente del descubrimiento del cuanto de acción, se convierte en algo problemático para la tradición en la física hasta el momento, y obliga a repensar el significado y validez de lo que significa ‘describir’ la naturaleza hasta ese momento.

Ante las diversas contradicciones lógicas que representaba la dualidad onda-partícula desde una lectura clásica. Bohr enfatizó en que no se trataba realmente de una contradicción lógica, sino la expresión de una estructura más profunda de la realidad. El principio de complementariedad surge precisamente para reconciliar estas imágenes teóricas independientes que, tomadas por separado, parecen contradictorias, pero juntas agotan la totalidad de la experiencia posible. En la que “la descripción complementaria abarca toda la información inambigua, acerca del mismo objeto atómico, que se puede obtener bajo diferentes condiciones experimentales, mutuamente excluyentes, y descrita con ayuda de los conceptos clásicos” (Cadenas, 2004, p.170).

Bohr explica que el núcleo del principio es la noción de contexto experimental. Insistía en que la elección del dispositivo de medición determina cuál de los aspectos complementarios se manifiesta. Si se diseña un experimento para observar el comportamiento ondulatorio (por ejemplo, un patrón de interferencia en la doble rendija), se pierde inevitablemente la posibilidad de hablar de trayectoria definida, es decir, de comportamiento corpuscular. Por otra parte, si se instala un detector que determine por cuál rendija pasa la partícula, se destruye el patrón de interferencia y aparece el aspecto de la partícula. Esta exclusividad no es un defecto del aparato, de hecho, resulta ser una consecuencia inevitable del cuanto de acción (h), en la que cualquier interacción entre el sistema y el instrumento introduzca una perturbación incontrolable. De esta manera, se demuestra que la medición no es un acto pasivo de observación, es una interacción física que redefine el propio fenómeno.

Esta idea va mucho más allá de la mera dualidad onda-partícula. Bohr extendió el principio a todos los pares de conceptos conjugados: posición y momento, energía y tiempo. Cada par constituye un conjunto complementario. La posición precisa exige un dispositivo que fije el sistema en el espacio, pero eso destruye la posibilidad de definir con exactitud su momento. La energía definida con precisión requiere un tiempo de medición largo, pero entonces se pierde la localización temporal exacta. De esta manera, el cuanto de acción impone una indivisibilidad fundamental: no se puede separar el objeto del instrumento

de medición sin alterar el fenómeno mismo. Esta inseparabilidad sujeto-objeto es el núcleo epistemológico del principio. Ya no hay una realidad ‘en sí misma’ independiente del contexto experimental. La realidad cuántica es contextual por naturaleza.

La relación entre el principio de incertidumbre y el principio de complementariedad de Niels Bohr añade aún más profundidad al trabajo que se consolida en la interpretación de Copenhague. Bohr, quien colaboró estrechamente con Heisenberg en Copenhague, vio en la desigualdad no sólo un límite matemático, sino la expresión cuantitativa de su idea filosófica más profunda: ciertas propiedades cuánticas son complementarias. La posición y el momento no pueden definirse simultáneamente porque pertenecen a marcos experimentales mutuamente excluyentes. Si se diseña un experimento para medir posición con precisión (por ejemplo, usando un microscopio de rayos gamma), se sacrifica inevitablemente el conocimiento del momento. Al revés, un experimento que determine el momento con exactitud (como una difracción de electrones) difumina la posición. Esta complementariedad no es arbitraria; surge del hecho de que cualquier aparato de medición interactúa con el sistema mediante el cuanto de acción h , introduciendo una perturbación incontrolable.

La complementariedad no se limita al ámbito de la física atómica. Bohr mismo la extendió a otros campos del conocimiento, sugiriendo que conceptos como ‘vida’ y ‘mecanismo’ en biología, o ‘pensamiento’ y

‘acción’ en psicología; los cuales, también pueden entenderse como complementarios. Esta generalización filosófica revela la ambición del principio: no es solo una regla de la mecánica cuántica, sino una nueva forma de pensar la relación entre el fenómeno y el observador. En un mundo donde el cuanto de acción es finito, la descripción completa de cualquier fenómeno exige el uso de marcos conceptuales mutuamente excluyentes. Renunciar a uno de ellos significa renunciar a una parte esencial de la experiencia.

Ambos principios obligan a una humildad radical. Ya no es posible hablar de una descripción objetiva completa e independiente del observador. Toda descripción cuántica es contextual, debido a que depende del arreglo experimental elegido. Esto transforma radicalmente la noción clásica de objetividad. El conocimiento ya no es la revelación de una realidad preexistente, sino la construcción de una imagen coherente dentro de un contexto específico. Esta visión instrumentalista, que algunos críticos consideran demasiado subjetiva, ha demostrado ser extraordinariamente fructífera. Es la base de la interpretación de Copenhague, la más utilizada en la práctica científica cotidiana. Pues el fenómeno adquiere relevancia en términos de un hecho que se encuentra cargado de un contenido, el cual, es emitido de maneras diversas dependiendo de los factores que interceden en su manifestación, tal como lo describe Bohr:

En realidad, ha sido el descubrimiento del cuanto de acción el que nos ha enseñado que la física clásica tiene un rango de validez limitado, enfrentándonos, a la vez, a una situación sin precedentes en la física al

plantear bajo una nueva forma el viejo problema filosófico de la existencia objetiva de los fenómenos con independencia de nuestras observaciones.

Como hemos visto, toda observación entraña una interferencia de tal índole con el curso de los fenómenos que deja sin sentido a los fundamentos que subyacen al modo causal de descripción. (Bohr, 1988, p. 153)

En últimas, la interpretación de Copenhague no se trata de un simple cúmulo de principios para estudiar algo tan específico y pequeño como el mundo cuántico. Sino que conforma un pensamiento filosófico que se interesa por el comportamiento y composición de la naturaleza. Apoyando un pensamiento en el que la realidad no se deja apresar en una única imagen intuitiva. Al aceptar estos límites y características de la relación fenómeno-observador, se abre un panorama epistémico que enriquece las posibilidades de acción del sujeto en el mundo, sin olvidar que hay una restricción alrededor de tal interacción.

Capítulo 2: La relación fenómeno-observador desde una postura kantiana

El segundo capítulo de este trabajo tiene como propósito estudiar la relación fenómeno observador desde un enfoque kantiano. A partir de la “Crítica de la razón pura” (1997), el apartado va a explorar las características de tal relación y sus incidencias epistémicas. Para poder cumplir con tal propósito, el capítulo contiene dos apartados principales. Los cuales contienen una delimitación conceptual de lo que representa el fenómeno en la filosofía kantiana y su construcción como la muestra de una relación entre fenómeno-observador que se

posibilita desde la limitación de la intervención del sujeto. De esta manera, Kant ofrece un escenario fundamental para estudiar problemáticas epistemológicas, desde una visión que le da protagonismo a una epistemología que gira en torno a la manera en la que el sujeto se relaciona con el mundo desde sus propias facultades.

2.1 La construcción activa del fenómeno y del conocimiento: el entendimiento y las categorías en la filosofía trascendental de Kant

Conforme se desarrolla este trabajo, cada vez va tomando más forma un escenario en el que en lugar de asumir que el conocimiento se adapta a los objetos, los objetos deben adaptarse al conocimiento. Desde la perspectiva kantiana, todo aquello que el observador determina como realidad tiene una base que se fundamenta en sus propias facultades para captar el mundo. Esta inversión coloca al observador en el centro.

El observador, como sujeto trascendental, impone formas *a priori* a lo dado en la sensibilidad. Lo dado (la materia de la experiencia) se describe como el contenido sensorial bruto que el sujeto recibe al ser afectado por los objetos. Kant distingue entre la materia (sensaciones empíricas) y la forma (estructuras *a priori*). El fenómeno surge de esta síntesis, entre materia y forma, por lo cual, el observador no ‘descubre’ el mundo de forma pasiva, sino que lo organiza. Sin el sujeto, no hay fenómeno coherente, solo un flujo de impresiones. Es más, no se constituirá el fenómeno en cuestión, no se puede hablar de conocimiento sin pensar en las formas de intervención que tiene el sujeto en su interacción con el mundo. En este punto se instancia una relación en la que no hay fenómeno sin un sujeto, y no

existe nada observable sin las facultades que el mismo individuo posee por naturaleza. Nuevamente, el sujeto es el punto de referencia cuando se habla de conocer, cuando se hace referencia al mundo y a los hechos que acaecen dentro del mismo.

Ahora bien, cuando se habla de las facultades humanas surge la pregunta: ¿a qué facultades se está apelando? En los siguientes apartados se hará énfasis en el papel del entendimiento y las categorías en todo el proceso que define el conocer. Lo anterior, con el objetivo de demostrar cómo ambos (entendimiento y categorías) demuestran que el conocimiento es una construcción activa del fenómeno. Este análisis revelará que la filosofía crítica no solo limita el alcance del conocimiento humano, sino que lo fundamenta en la actividad sintética del sujeto.

2.2 Las categorías del entendimiento, fenómeno, y sujeto legislador

Lo primero que nos es dado es el fenómeno, que recibe el nombre de percepción cuando va ligado a la conciencia (sin la relación con una conciencia que sea, al menos, posible, jamás se convertiría el fenómeno en objeto de conocimiento, ni sería nada para nosotros; como no posee en sí mismo realidad objetiva alguna, sino que sólo existe en el conocimiento, no sería nada en absoluto). Pero, dado que cada fenómeno incluye una multiplicidad, es decir, son varias las percepciones que intervienen separada e individualmente en el psiquismo, les hace falta una cohesión que no pueden tener en el sentido mismo. Hay, pues, en nosotros una

facultad activa que sintetiza esa multiplicidad. La denominamos imaginación, y a su acción, ejercida directamente sobre las percepciones, le doy el nombre de aprehensión. La imaginación tiene que reducir a una sola *imagen* la diversidad de la intuición. Previamente debe, pues, ejercer su actividad sobre las impresiones, es decir, aprehenderlas. (Kant, 1781/1997, A120)

Teniendo en cuenta este fragmento perteneciente a la “Deducción trascendental” (1997), Kant parte de una constatación fundamental: lo primero que se nos da es el fenómeno como multiplicidad sensible dispersa. Las impresiones llegan al psiquismo de manera fragmentada y sin cohesión interna, y ante esta diversidad caótica, surge la necesidad de una facultad sintética que unifique lo diverso. Esa facultad es la imaginación, su primera acción, a la que Kant denomina síntesis de la aprehensión, consiste en recoger y mantener unidas las impresiones sucesivas para formar una imagen coherente. Sin esta operación, el fenómeno permanece como un flujo informe de sensaciones que jamás podría convertirse en objeto de conocimiento. Es completamente válido afirmar que el entendimiento constituye una de las dos fuentes principales del conocimiento humano junto con la sensibilidad. Este representa la facultad activa y espontánea mediante la cual el sujeto organiza y unifica el material sensible para constituir la experiencia objetiva. Kant define el entendimiento como la facultad de los conceptos y de los juicios, cuya función principal consiste en pensar lo que la sensibilidad nos da a conocer.

El entendimiento no es una facultad meramente receptiva, como la sensibilidad, sino que es la facultad encargada de pensar lo que la sensibilidad intuye. Mientras que la sensibilidad recibe impresiones a través de las formas puras del espacio y el tiempo, el entendimiento actúa por sí mismo produciendo conceptos puros (las categorías) y aplicándolos al material sensible. Esta espontaneidad es clave para comprender su papel constitutivo: el entendimiento no se limita a reflejar la realidad, sino que prescribe las condiciones bajo las cuales algo puede llegar a ser un objeto de experiencia. El entendimiento es la legislación de la naturaleza, no porque sea un ente creador de la naturaleza misma, sino porque se rige por las leyes universales y necesarias que hacen posible toda experiencia objetiva.

Las categorías constituyen el núcleo de la actividad sintética del entendimiento y representan la herramienta principal con la que el sujeto trascendental legisla sobre la naturaleza fenoménica. Kant las define como conceptos puros *a priori* del entendimiento, es decir, conceptos que no se derivan de la experiencia, sino que la hacen posible. A diferencia de los conceptos empíricos (que se forman por abstracción a partir de la percepción), las categorías son originarias y pertenecen exclusivamente a la espontaneidad del entendimiento. Su función no es describir objetos ya dados, sino constituir la objetividad misma del fenómeno.

Kant deriva sistemáticamente las categorías de la tabla de los juicios, siguiendo la lógica aristotélica. En el §10 de la “Análítica de los Conceptos” (1997) (Los conceptos puros del entendimiento o categorías), presenta la tabla completa, dividida en cuatro grupos o títulos, cada uno con tres categorías:

- **Cantidad:** Unidad, Pluralidad, Totalidad
- **Cualidad:** Realidad, Negación, Limitación
- **Relación:** Inherencia y subsistencia (sustancia y accidente), Causalidad y dependencia (causa y efecto), Comunidad (acción recíproca entre agente y paciente)
- **Modalidad:** Posibilidad-imposibilidad, Existencia-no existencia, Necesidad-contingencia

Cada grupo corresponde a una función lógica del juicio y, al mismo tiempo, a una forma de síntesis que el entendimiento impone a la intuición. Las categorías no son meros instrumentos subjetivos ni etiquetas arbitrarias, son condiciones trascendentales de la objetividad. Sin ellas, la experiencia no sería más que un flujo desordenado de sensaciones. Gracias a las categorías, el fenómeno adquiere unidad, permanencia, causalidad y necesidad, convirtiéndose en objeto de conocimiento válido para todo sujeto cognoscente. Cada una de ellas tiene una función específica respecto a su contenido y participación en el desarrollo del propio pensamiento.

1. **La cantidad:** permite pensar el fenómeno como una magnitud.

La categoría de unidad hace posible concebir algo como un objeto individual; la de pluralidad, como una colección de elementos; y la de totalidad, como un conjunto completo. Sin estas categorías, no podríamos hablar de ‘un objeto’, ‘varios objetos’ o ‘todos los objetos’.

2. **La cualidad:** se refiere al contenido real del fenómeno. La realidad afirma la presencia de algo en la intuición; negación, su ausencia; y limitación, una realidad restringida o graduada. Estas categorías permiten distinguir entre lo que es positivamente dado y lo que es negado o limitado en la experiencia.
3. **La relación:** Es, quizá, el grupo más decisivo para la constitución del fenómeno objetivo. La categoría de sustancia y accidente permite percibir algo como permanente a través del cambio (la sustancia) y como modificable (los accidentes). En el caso de la causalidad y dependencia se establece que todo cambio tiene una causa necesaria, transformando la mera sucesión temporal en conexión objetiva. Por último, la de continuidad (o interacción recíproca) permite concebir que las sustancias actúan y reaccionan mutuamente, constituyendo un mundo coherente de objetos en relación. Estas categorías son las que hacen posible la experiencia científica tal como la entendemos: un mundo ordenado por leyes causales y sustanciales.
4. **La modalidad:** no añade nuevo contenido al objeto, sino que determina la manera en que el entendimiento lo considera, puede ser como posible, existente o necesario. Así, el entendimiento no solo constituye el objeto, sino que reflexiona sobre su estatus modal dentro de la experiencia.

Para que las categorías puras (abstractas e intelectuales) puedan aplicarse a los fenómenos sensibles (concretos y temporales), Kant introduce el Esquematismo trascendental en el capítulo dedicado a los principios del entendimiento puro. El esquema es una representación mediadora producida por la imaginación trascendental que hace homogénea la categoría con el fenómeno. El esquematismo demuestra que la construcción del fenómeno no es una aplicación mecánica de conceptos abstractos a sensaciones, sino un acto dinámico y temporal en el que el entendimiento determina el tiempo mismo según reglas *a priori*. Sin el esquematismo, las categorías permanecerían vacías y los fenómenos ciegos.

En síntesis, las categorías convierten al sujeto en legislador de la naturaleza fenoménica. No son conceptos que el entendimiento ‘encuentra’ en el mundo, sino reglas que el entendimiento impone necesariamente para que haya mundo objetivo, tal como afirma Kant en la Deducción trascendental (1997). De este modo, las categorías no sólo unifican la multiplicidad sensible, sino que revelan la inseparabilidad entre el sujeto y el objeto, pues, el fenómeno es siempre el resultado de la actividad categorial del entendimiento. Sin categorías no hay fenómeno objetivo, sin fenómeno objetivo no hay conocimiento. Esta actividad legislativa del sujeto trascendental constituye, por tanto, el fundamento mismo de la relación fenómeno-observador en la filosofía kantiana.

Esta inseparabilidad sujeto-objeto alcanza su formulación más explícita en el Capítulo III de la “Analítica de los Principios” (1997). Kant afirma que el fenómeno es el objeto tal como aparece al sujeto, mientras que el *númeno* es la cosa en sí, inaccesible a nuestra intuición sensible. La inseparabilidad sujeto-

objeto que construye Kant alrededor de su teoría fundamenta el conocimiento. Precisamente porque las formas del sujeto son universales y necesarias para todo ser racional finito, el fenómeno posee validez objetiva. El fenómeno es la única realidad objetiva accesible al conocimiento humano.

2.3 la construcción del fenómeno, y sus consecuencias epistemológicas alrededor de la unificación

El fenómeno no es un dato bruto que el sujeto recibe desde el exterior, no se trata de una copia imperfecta de las cosas, ni una ilusión subjetiva. Es el objeto tal como puede aparecer al individuo, construido activamente por las formas puras de la sensibilidad y por las categorías del entendimiento.

La construcción del fenómeno comienza en la sensibilidad. Aunque, también contiene en su inicio la intervención de la intuición, la cual, hace referencia al “modo por medio del cual el conocimiento se refiere inmediatamente a dichos objetos y es aquello a que apunta todo pensamiento en cuanto medio” (Kant, 1781/1787/1997, A19/B33). La intuición desde Kant representa un puente para la posibilitación del conocimiento, se trata de una facultad humana que está ligada directamente con la sensibilidad, la cual refiere a la característica humana de la afectación por medio de los sentidos. La intuición es la primera forma dada por la afectación del propio psiquismo a través de la sensibilidad, una sensibilidad que suministra cierta información de aquello que se presenta ante el sujeto, tal como Kant expone en el siguiente apartado:

Teniendo en cuenta que la representación no produce en sí misma su objeto *por lo que se refiere a su existencia* del mismo [...] será, de todos modos, determinante *a priori* en relación con su objeto [...] Ahora bien, hay solo dos condiciones bajo las cuales puede conocerse un objeto. En primer lugar, la *intuición* a través de la cual viene dado, aunque únicamente en cuanto fenómeno. En segundo lugar, el *concepto* a través del cual es pensado el objeto correspondiente a dicha intuición. Pero de ello se desprende claramente que la primera condición, es decir, la única bajo la cual pueden intuirse objetos, les sirve efectivamente de base *a priori* en el psiquismo, por lo que a la forma de los mismos se refiere. Todos los fenómenos concuerdan, pues, necesariamente con esta condición formal de la sensibilidad, ya que sólo gracias a ella puede manifestarse, es decir, sólo gracias a ella pueden ser empíricamente intuitos y dados [...] En tal caso, todo conocimiento empírico de los objetos ha de conformarse forzosamente a esos conceptos, ya que, si dejamos de presuponerlos, nada puede ser *objeto de la experiencia*. (Kant, 1781/1787/1997. B125/A93/B126).

Todas estas facultades representan un primer momento empírico, en el que la intuición que todavía no ha sido cargada de un contenido determinado por medio de la intuición sensible. es el modo inmediato en que los objetos nos son dados.

Es la forma de conocimiento propia de la sensibilidad (*Sinnlichkeit*), es decir, de nuestra capacidad o facultad receptiva de ser afectados por los objetos; ya sea de forma empírica (con sensación) o pura (espacio y tiempo como formas *a priori*).

La intuición, se muestra como el modo en que el conocimiento se refiere

inmediatamente a los objetos, refiere a la representación inmediata del objeto. En ese tránsito que se da desde la propia experiencia del sujeto en el mundo surge un objeto de conocimiento que no está del todo determinado, este recibe el nombre de fenómeno.

Los conceptos de espacio y tiempo ocupan un lugar estratégico, pues hacen parte de las primeras condiciones de posibilidad mediante las cuales el sujeto constituye el ámbito de lo cognoscible. La manera en que estos conceptos se manejen determinará en buena medida la profundidad con la que pueda articularse la relación fenómeno-observador y la tesis de la construcción activa del fenómeno. Por ello, resulta conveniente abordarlos desde la doble caracterización que el propio Kant les atribuye: su idealidad trascendental y su realidad empírica.

Kant introduce el espacio y el tiempo en la “Estética trascendental” (1997) como las formas puras de la intuición sensible. El espacio es la forma de todos los fenómenos del sentido externo; el tiempo es la forma del sentido interno y de todos los fenómenos en general. Ambos son representaciones *a priori*: no se derivan de la experiencia, sino que la hacen posible. Como afirma Kant, para el sujeto no es posible representar la ausencia de espacio, aunque sí puede pensar que no haya objetos en él; de manera análoga, podemos eliminar los fenómenos del tiempo, pero no el tiempo mismo. Esta necesidad *a priori* los convierte en condiciones subjetivas de la sensibilidad humana. Al mismo tiempo, Kant sostiene que poseen realidad empírica: son objetivamente válidos para todos los fenómenos, es decir, para todo lo que puede aparecernos. Esta doble tesis es la clave para su manejo en el presente trabajo.

La idealidad trascendental significa que el espacio y el tiempo no son propiedades de las cosas en sí (*númenos*), ni contenedores absolutos independientes del sujeto, como en la física newtoniana. Existen únicamente como formas de nuestra facultad de intuir. La realidad empírica, por su parte, garantiza que estas formas no son arbitrarias ni privadas, poseen validez universal y necesaria para todo sujeto racional finito. De este modo, el espacio y el tiempo permiten la intersubjetividad de la experiencia y la objetividad científica, sin caer en un subjetivismo.

Esta doble caracterización resulta especialmente conveniente para el diálogo con la interpretación de Copenhague. Si se privilegiara únicamente la idealidad trascendental, se correría el riesgo de interpretar el sujeto kantiano como un constructor solipsista, lo cual dificultaría el diálogo con una tradición científica que insiste en la comunicabilidad y reproducibilidad de los resultados experimentales. Si, por el contrario, se enfatizara solo la realidad empírica, se perdería la fuerza crítica del giro copernicano y se volvería a una concepción más cercana al realismo clásico, incompatible tanto con Kant como con Bohr y Heisenberg. Por tanto, el camino más fructífero consiste en mantener la tensión entre ambas dimensiones: el espacio y el tiempo son ideales en cuanto condiciones del sujeto, pero reales en cuanto estructuras universales de todo fenómeno posible.

Desde esta perspectiva, el espacio y el tiempo constituyen el primer nivel de la construcción activa del fenómeno. Antes de que el entendimiento aplique las categorías, la sensibilidad ya ha ordenado la multiplicidad sensible según estas formas. Los apartados pertenecientes a la “Estética trascendental” (1997) enfatizan en el carácter fundamental del fenómeno como una forma que se adopta de primera

mano dentro de un proceso en el que el mundo se manifiesta y el sujeto de alguna manera lo ‘captura’. Esa forma que posee el fenómeno es completamente *a priori* y susceptible por el psiquismo humano. El fenómeno, por tanto, es siempre representación, no es algo que exista de forma independiente al sujeto esperando ser descubierto, sino algo que surge en el encuentro entre la realidad y las formas *a priori* del sujeto. El fenómeno termina representando una posibilidad de conocimiento.

Así, el fenómeno siempre aparece dentro de estas dos formas puras. No hay fenómeno sin espacio ni sin tiempo. Esto significa que el observador (el sujeto trascendental) no es un espectador neutral que contempla una realidad ya constituida, sino el artífice mismo del fenómeno. El objeto sensible solo puede ser dado en la medida en que el sujeto le proporciona las condiciones de su aparición. Kant resume esta idea en las Observaciones generales sobre la estética trascendental:

Todas nuestras intuiciones no son más que una representación fenoménica: que las cosas que intuimos no son en sí mismas como las intuimos [...]
Como fenómenos, no pueden existir en sí mismos, sino solo en nosotros.
(Kant, 1781/1787/1997, A42/B59)

El fenómeno, por consiguiente, es subjetivo en su origen y objetivo en su validez. Es subjetivo porque depende de las formas de nuestra sensibilidad, y es objetivo porque una vez constituidas esas formas todos los individuos cognoscentes deben percibir los fenómenos de la misma manera. Aquí reside un rasgo sumamente

importante en Kant: el fenómeno no es ilusión ni mera apariencia engañosa, sino la única realidad cognoscible para nosotros. Ningún objeto puede aparecer sin estas dos formas que el sujeto mismo aporta, es por eso que el fenómeno siempre aparece dentro del espacio y del tiempo que el sujeto proporciona. Sin esas formas *a priori* no habría fenómeno posible. El observador no recibe pasivamente el objeto, el objeto solo puede aparecer porque el sujeto le otorga las condiciones de su aparición.

La construcción del fenómeno es, por tanto, una doble síntesis. La sensibilidad aporta la materia a través de espacio y tiempo, mientras que el entendimiento aporta la forma a través de las categorías. Entre ambas facultades se interpone la imaginación trascendental, que produce los esquemas que hacen homogénea la categoría pura con el fenómeno sensible. El fenómeno surge como resultado de esta triple actividad: sensibilidad, imaginación y entendimiento. El fenómeno no puede ser un simple dato bruto o vacío, es el producto de la espontaneidad del sujeto trascendental, el fenómeno es, desde su origen, un correlato del sujeto que lo constituye. De esta manera, el entendimiento tiene protagonismo por el hecho de unificar las representaciones que son diversas desde la percepción y la intuición, tal como Kant lo retrata en el siguiente apartado:

el acto del entendimiento que unifica la diversidad de las representaciones dadas (sean intuiciones o conceptos) bajo la apercepción es la función lógica de los juicios (cf. § 19). En la medida en que viene dada en una única intuición empírica, toda diversidad se halla, pues, *determinada* con

respecto a una de las funciones lógicas del juicio, función a través de la cual dicha diversidad es llevada a la conciencia. Ahora bien, en la medida en que la diversidad de una intuición dada viene determinada en relación con las *categorías*, éstas no son otra cosa que esas mismas funciones del juicio (cf. § 13). Lo diverso de una intuición dada también se halla, pues, necesariamente sujeto a las categorías. (Kant I., 1787/ 1997, B143)

El entendimiento no se limita a registrar lo dado, lo unifica, lo ordena y lo convierte en objeto de experiencia posible mediante sus conceptos puros o categorías. Esta construcción activa del fenómeno y del conocimiento no es un añadido posterior ni una operación psicológica contingente; es la condición trascendental misma de toda objetividad. Sin el entendimiento y sus categorías, la multiplicidad sensible permanecería caótica sin formar nunca un fenómeno unificado y válido universalmente. El entendimiento no es una facultad receptiva, como la sensibilidad, sino una facultad activa y espontánea. Su actividad fundamental es la síntesis: la operación por la cual une la diversidad de las intuiciones en una unidad objetiva. Esta síntesis no es arbitraria, sino que sigue reglas *a priori* que el entendimiento posee de manera originaria. Kant, desde la “Deducción trascendental” distingue tres momentos de la síntesis que preparan el camino a la construcción del fenómeno:

1. **Síntesis de la aprehensión en la intuición:** el acto por el cual el sujeto recoge la multiplicidad sensible en una sola representación.

2. **Síntesis de la reproducción en la imaginación:** el acto por el cual el sujeto retiene y reproduce las representaciones pasadas para poder compararlas con las presentes.
3. **Síntesis del reconocimiento en el concepto:** el acto por el cual el sujeto reconoce la unidad de la representación bajo un concepto común.

Estas tres síntesis convergen en la unidad sintética de la apercepción trascendental o ‘yo pienso’. El ‘yo pienso’ no es una conciencia empírica individual, sino la conciencia trascendental pura, la unidad originaria que hace posible toda experiencia. Por este motivo “el *Yo pienso* tiene que *poder* acompañar todas mis representaciones” (Kant, 1787/ 1997, B 132), pues, sin esta unidad, la multiplicidad sensible quedaría como un caos sin conexión. El entendimiento es, por tanto, la facultad que, al aplicar sus reglas *a priori*, transforma la diversidad caótica en un fenómeno unificado y objetivo. Esta actividad sintética del entendimiento es lo que distingue radicalmente la filosofía crítica de las filosofías empiristas y racionalistas anteriores. El sujeto trascendental es, pues, el principio de toda síntesis y la condición de posibilidad del fenómeno mismo. Las categorías son las formas concretas en que esa síntesis se realiza. El entendimiento no se limita a recibir; sintetiza activamente la materia sensible y la convierte en fenómeno unificado, permanente, causal y necesario. Cabe aclarar que el sujeto kantiano no es el sujeto empírico, psicológico o individual. En este caso se trata del sujeto trascendental, la conciencia pura que acompaña y unifica todas las representaciones. Esta apercepción originaria no es un hecho psicológico, sino la condición trascendental de la unidad de la experiencia.

En conclusión, la relación sujeto-objeto en Kant es inseparable porque el objeto (fenómeno) sólo existe en cuanto es constituido por el sujeto trascendental. La apercepción originaria, las categorías y las formas puras de la intuición son las condiciones bajo las cuales la diversidad sensible se convierte en objeto unificado. Esta inseparabilidad enriquece el campo de la filosofía, porque convierte al sujeto en legislador de la naturaleza y al fenómeno en la única realidad objetiva accesible al conocimiento humano. Más de dos siglos después, esta idea sigue iluminando cualquier reflexión seria sobre los límites y las posibilidades del conocimiento, ofreciendo un marco filosófico profundo para dialogar con las ciencias contemporáneas.

2.4: Distinción *númeno* y *fenómeno*

Kant delimita con máxima precisión el alcance y los límites del observador humano. El concepto de fenómeno es uno de los conceptos fundamentales que posibilitan esa limitación epistemológica. Nuevamente, es importante recalcar que este no es una ilusión subjetiva ni una copia degradada de la realidad, sino el único modo en que algo puede aparecer ante un sujeto finito. Kant insiste en que todo lo que conocemos está necesariamente mediado por las formas *a priori* de la sensibilidad (espacio y tiempo) y por las categorías del entendimiento.

El fenómeno no es algo distinto de la realidad independiente del sujeto, pues este en parte determina su existencia y manifestación. El fenómeno es esa realidad en parte, pero considerada bajo las condiciones subjetivas inevitables de nuestra facultad cognoscitiva. Existe un límite de interacción con el mundo en pro de la

representación fenoménica, no cabe la posibilidad de conocer a cabalidad algo que esté completamente abstraído de las facultades humanas empíricas y trascendentales. El simple hecho de percibir por parte del cuerpo y de todo el escenario de la experiencia conlleva una carga de pensamiento y de límites que se fijan desde el cuerpo y la mente.

Ahora bien, si el fenómeno es la cosa tal como nos aparece, ¿qué queda cuando hay un intento por abstraer completamente esas condiciones? Queda la cosa en sí, que Kant denomina *nómeno*, este se refiere a la cosa en sí misma, la cual está despojada de toda intervención del sujeto. Por lo tanto, la cosa en sí no resulta siendo objeto de la intuición sensible perteneciente al individuo. Es decir, todo aquello a lo que nos queramos dirigir como objeto independiente de nosotros termina siendo un sinsentido, porque no hay acceso a algo a lo que nuestra propia experiencia no puede acceder. Así, Kant distingue el *númeno* en dos sentidos:

Si entendemos por *númeno* una cosa *que no sea objeto de la intuición sensible*, este *númeno* está tomado en sentido *negativo*, ya que hace abstracción de nuestro modo de intuir la cosa. Si, por el contrario, entendemos por *númeno* el *objeto de una intuición no sensible*, entonces suponemos una clase especial de intuición, a saber, la intelectual. Pero esta clase no es la nuestra, ni podemos siquiera entender su posibilidad. Este sería el *númeno* en su sentido *positivo*. (Kant, 1787/1997, A252)

El *númeno* en sentido positivo es imposible para nosotros, por lo cual, el observador humano está irremediabilmente limitado a los fenómenos. El

observador es, pues, el límite absoluto, más allá de él solo hay un pensar vacío. El mundo tal como es en sí mismo (neumónico) nos afecta desde la propia percepción que tenemos del mismo, pero nunca lo conocemos en esa ‘completitud’. El fenómeno es la única realidad a la que tenemos acceso, y es la única bajo la que construimos lo que es real. Esta limitación no implica un descarte hacia el aspecto neumónico del mundo absoluto en un sentido ontológico, Kant reconoce que las cosas en sí nos afectan, producen en nosotros sensaciones. Sin embargo, el modo en que nos afectan pasa necesariamente por el filtro de nuestras formas de intuición y pensamiento. La cosa en sí es real en cierta medida, al ser constituyente en gran parte de la manifestación de los fenómenos, actúa sobre nosotros. Sin embargo, no tenemos acceso total a su composición en sí misma, sólo conocemos sus apariencias estructuradas por el sujeto. Esta cosa en sí no coincide con lo que estructuramos de ella.

La separación refleja una consecuencia inevitable de la estructura misma de nuestra facultad cognoscitiva humana. El fenómeno es lo que aparece desde la experiencia, mientras que el *númeno* es lo que la cosa es independientemente de cualquier intervención del observador. El fenómeno es cognoscible porque está condicionado por espacio, tiempo y categorías, el *númeno* es incognoscible porque está libre de esas condiciones. Kant no niega la existencia del *númeno*, al contrario, lo postula como necesario. Si todo fuera fenómeno, no habría nada que apareciera. Pero ese ‘algo’ no puede ser pensado como una fuente de conocimiento, no puede ser el objetivo del conocimiento desde una teoría epistemológica.

Esta separación tiene un doble carácter: epistemológico y ontológico.

Epistemológicamente, marca el límite infranqueable de nuestro conocimiento, mientras que, ontológicamente, afirma que la realidad posee un aspecto que trasciende la capacidad representativa perteneciente al individuo. El fenómeno es la única realidad accesible, el *númeno* es el horizonte negativo que recuerda constantemente que nuestra cognición es finita. La distinción fenómeno- *númeno* no es un dualismo ontológico entre dos mundos separados, sino una distinción crítica dentro del mismo objeto considerado desde dos puntos de vista: como aparece (fenómeno) y como es en sí (*nómeno*). El primero es el único accesible al conocimiento humano, mientras que el segundo es pensable como límite, pero nunca cognoscible. Por lo cual, se puede afirmar que el fenómeno termina siendo el resultado de una construcción activa en la que el sujeto no solo describe el mundo, sino que lo interpreta, lo percibe y lo experimenta desde sus propios límites.

Capítulo 3: Diálogo entre la filosofía trascendental de Kant y la interpretación de Copenhague: la construcción del fenómeno y los límites epistemológicos del conocimiento

A lo largo de este trabajo se ha mostrado que la relación entre sujeto y objeto constituye el núcleo problemático tanto de la filosofía trascendental de Kant como de la interpretación de Copenhague de la mecánica cuántica. En ambos casos, lo que tradicionalmente se entendía como una relación de contemplación se

transforma en una relación constitutivamente activa. Esta transformación no es un detalle técnico ni un ajuste menor dentro de la teoría del conocimiento, implica un fuerte cuestionamiento epistemológico desde diversos enfoques respecto a lo que significa conocer, los límites de la objetividad y del estatuto mismo de la realidad accesible a la experiencia.

En el presente capítulo se desarrolla una exploración de estas problemáticas a través del diálogo entre ambas tradiciones. No busca una síntesis definitiva, sino delimitar con mayor precisión las tensiones, los paralelismos y los interrogantes que surgen cuando la filosofía crítica y la física cuántica se confrontan en torno a la relación sujeto-objeto y a los límites del conocimiento humano.

3.1 ¿Qué significa conocer?: La tensión entre construcción y descubrimiento de la realidad

La filosofía trascendental de Kant y la interpretación de Copenhague convergen en una intuición fundamental que marca un quiebre histórico en la comprensión de la realidad: el fenómeno, como se conoce, no existe de manera independiente al acto de experimentación, percepción o medición. En ambos casos, lo que se denomina como ‘realidad observable’ surge en una relación constitutiva a partir del sujeto/observador. Esta convergencia fundamental llega a tejer cierta complejidad a nivel epistemológico. Tanto la teoría kantiana como la interpretación de Copenhague desplazan al observador del rol pasivo de espectador neutral al de participante activo en la constitución del fenómeno. Esta sección explora estos

paralelismos con detenimiento, mostrando cómo la teoría kantiana encuentra ecos sorprendentes en la revolución cuántica del siglo XX.

El paralelismo más evidente y fructífero se encuentra entre el sujeto trascendental kantiano y el observador en la interpretación de Copenhague. Para Kant, el sujeto trascendental no es el yo empírico individual, sino la conciencia pura, formal y universal expresada en la apercepción originaria. El sujeto trascendental es, por tanto, el principio activo que unifica, organiza y hace posible el fenómeno mismo. De manera análoga, en la interpretación de Copenhague el observador no es un mero componente pasivo de una realidad completamente preexistente o independiente. Bohr, en “La teoría atómica y la descripción de la naturaleza” (1988) (una de sus obras con mayor tinte filosófico) insiste repetidamente en que la descripción física de un sistema cuántico debe incluir necesariamente el contexto experimental completo, es decir, teniendo en cuenta el papel protagónico del objeto de medición y el observador. Tal como lo expone en el siguiente apartado

En realidad, ha sido el descubrimiento del cuanto de acción el que nos ha enseñado que la física clásica tiene un rango de validez limitado, enfrentándonos, a la vez, a una situación sin precedentes en la física al plantear bajo una nueva forma el viejo problema filosófico de la existencia objetiva de los fenómenos con independencia de nuestras observaciones. Como hemos visto, toda observación entraña una interferencia de tal índole con el curso de los fenómenos que deja sin sentido a los fundamentos que subyacen al modo causal de descripción. (Bohr N., 1988 p. 153)

El fenómeno cuántico (el resultado observable) solo se actualiza en el acto de medición. Antes de esta interacción, el sistema se describe mediante una función de onda que contiene una superposición de estados posibles. Es el acto de medición, inseparable del observador, el que produce el ‘colapso’ y hace que aparezca un valor definido. Así como en Kant no hay fenómeno sin sujeto trascendental, en el caso de la interpretación de Copenhague no hay fenómeno definido sin observador. Es menester comprender que la línea de pensamiento que se traza desde la interpretación de Copenhague representa una revolución epistemológica para el momento. ¿Qué significa pensar más allá de los parámetros impuestos en un contexto determinado? En este caso, se demuestra que el observador es simplemente inseparable de la concepción de mundo y de realidad; el cual él mismo construye

Este paralelismo toma forma al examinar la construcción activa del fenómeno. Kant rechaza la idea de que el conocimiento sea una mera reproducción pasiva de una realidad ya constituida. El fenómeno es el resultado de una compleja síntesis: la sensibilidad proporciona la materia a través de las formas puras de espacio y tiempo, la imaginación trascendental produce los esquemas, y el entendimiento aplica las categorías para unificar la diversidad sensible.

De ahí, se desprende un protagonismo del sujeto en el proceso del conocer desde sus propias facultades comprende la complejidad de aquello que podemos llamar conocimiento. Es más, en este punto se destaca que todo concepto trae una mediación que no puede simplemente darse por hecho. Algo que sucede en perspectivas como la newtoniana, donde el contexto de experimentación, sus

condiciones y sujetos de conocimiento deben lograr encajar en un marco de pensamiento estático, que admite un ‘margen de error’ o de variabilidad casi nulo. En la interpretación de Copenhague se da un proceso sorprendentemente similar, de ahí se desglosa todo un proceso en el cual se planta la incertidumbre:

Cuando llegamos a la observación siguiente, cuyo resultado podrá ser pronosticado por la teoría, es muy importante comprender que nuestro objeto habrá de ponerse en contacto con el resto del mundo (el instrumental de medición, etc.) antes de la observación, o por lo menos en el mismo instante. Esto significa que la ecuación de movimiento para la función de probabilidad contiene ahora la influencia de la interacción con el aparato de medida. Esta influencia introduce un nuevo elemento de incertidumbre, ya que el aparato de medida debe ser necesariamente descrito en términos de la física clásica; tal descripción contiene todas las incertidumbres propias de la estructura microscópica del instrumento, que conocemos por la termodinámica; y puesto que el instrumento está conectado con el resto del mundo, contiene, de hecho, las incertidumbres de la estructura microscópica del mundo entero. Estas incertidumbres pueden ser llamadas objetivas en tanto que sean simplemente una consecuencia de la descripción en términos clásicos, y no dependan del observador. Pueden ser llamadas subjetivas en la medida en que se refieren a nuestro incompleto conocimiento del mundo.

(Heisenberg W., 1958, pp. 43-44)

En ambas teorías (teoría kantiana y cuántica), el observador no descubre propiedades preexistentes, más bien, participa activamente en su constitución, esa

constitución va de la mano con un ambiente que se manifiesta de manera determinada. El fenómeno es construido desde la propia capacidad de manifestación que este posee.

Finalmente, ambos marcos representan una ruptura radical con la física y la epistemología clásica. Kant rompe con el realismo ingenuo y el empirismo pasivo al afirmar que los objetos deben regirse por nuestro conocimiento, mientras la mecánica cuántica rompe con el determinismo instaurado desde la física clásica y con la idea de que las propiedades existen independientemente de la observación. El diálogo entre Kant y Copenhague no resuelve estos problemas, pero los delimita con mayor claridad y profundidad. Obliga a reconocer que el conocimiento humano es necesariamente relacional, finito y perspectivo. Ni Kant ni la interpretación de Copenhague permiten una visión ingenua de la ciencia como espejo de la realidad, ambos exigen una epistemología más madura, una epistemología consciente del rol activo del observador, humilde frente a los límites del conocimiento y responsable en la construcción de los fenómenos que tomamos como realidad.

Bohr en “La teoría atómica y la descripción de la naturaleza” (1988) insistió en que el sistema cuántico y el aparato de medición forman una totalidad indivisible durante el proceso de medición, pues, no es posible describir el comportamiento del sistema de forma independiente del observador y del contexto experimental. Esta idea, conocida como ‘holismo cuántico’ o ‘inseparabilidad observador-sistema’, constituye uno de los rasgos más revolucionarios de la interpretación de Copenhague. Tanto en Kant como en la interpretación de Copenhague, la

separación tajante entre sujeto y objeto se vuelve imposible cuando se trata de describir el fenómeno:

Desde ambas teorías terminan tomando forma una compleja relación entre contexto y universalidad en el conocimiento. Ambos enfoques sostienen que el fenómeno surge bajo condiciones específicas, pero ambos aspiran, de maneras distintas, a formular conocimientos que posean validez universal. Kant resuelve esta tensión mediante formas *a priori* universales que se aplican en todo contexto posible de experiencia. La interpretación de Copenhague, en cambio, hace del contexto experimental una condición constitutiva del fenómeno observable, lo que genera una universalidad de tipo diferente desde el indeterminismo y el factor probabilístico: contextual pero intersubjetivamente reproducible. El diálogo entre ambos revela que la universalidad del conocimiento ya no puede entenderse como independencia absoluta del observador, sino como una universalidad mediada por condiciones necesarias o contextuales. Esto requiere una nueva hipótesis: la referencia ahora, dice Bohr, ya no son los objetos atómicos —aunque se siga hablando de ellos—, sino los fenómenos. Y el fenómeno, además del objeto y del aparato, incluye también a la interacción. Esa es la clave: la interacción forma parte del fenómeno y la teoría cuántica no se ocupa ya, en consecuencia, de objetos concretos tales como átomos o electrones, sino de fenómenos y a ellos son a los que hay que aplicar el formalismo (Ferrero, M., 1988, pp. 33-34)

En este punto, estas ideas impulsadas por Bohr conformarían una cuestión importante en la interpretación de Copenhague: el contexto experimental y la revolución en una nueva manera de ver el fenómeno observable. No se puede hablar de las propiedades de un electrón sin especificar si se está midiendo posición o momento, onda o partícula. El contexto experimental desempeña un rol análogo al de las formas *a priori* kantianas: determina qué aspecto de la realidad puede manifestarse.

En Kant, la universalidad del conocimiento se fundamenta en las formas *a priori* del sujeto trascendental. Espacio y tiempo no son conceptos empíricos derivados de la experiencia, son intuiciones puras que el sujeto impone necesariamente a toda intuición sensible. Del mismo modo, las categorías del entendimiento (tales como unidad, causalidad, sustancia, entre otras) son conceptos puros *a priori* que poseen validez universal y necesaria para todo sujeto racional finito. Esta universalidad es trascendental: no depende de la experiencia particular, sino que la hace posible. Kant logra así una universalidad fuerte. Las leyes que rigen los fenómenos no son meras generalizaciones inductivas; son necesarias porque derivan de las estructuras mismas de la facultad cognoscitiva.

Sin embargo, esta universalidad no elimina el contexto. Aunque las formas *a priori* son universales, su aplicación siempre ocurre en un contexto empírico concreto. El fenómeno se construye en cada acto de experiencia particular, pero las condiciones que hacen posible esa construcción son las mismas para todo sujeto. Aquí Kant establece un equilibrio elegante: el conocimiento es contextual en su realización empírica, pero universal en sus condiciones trascendentales. La

objetividad y la universalidad se salvan precisamente porque las estructuras *a priori* son compartidas por toda razón finita. La interpretación de Copenhague introduce una relación entre contexto y universalidad de naturaleza distinta y, en muchos sentidos, más radical. Bohr insistió en que no es posible hablar de las propiedades de un sistema cuántico sin especificar el contexto experimental en el que se miden. La complementariedad es, ante todo, una complementariedad contextual: onda y partícula, posición y momento, son descripciones mutuamente excluyentes que dependen del arreglo experimental elegido. El fenómeno cuántico no es universal en el sentido de poseer propiedades definidas independientemente del contexto, su manifestación es inherentemente contextual.

3.2 Lo cognoscible, lo incognoscible y lo pensable: un problema epistemológico en el diálogo entre la filosofía trascendental de Kant y la interpretación de Copenhague

Una de las implicaciones epistemológicas más profundas y perdurables del diálogo entre la filosofía trascendental de Kant y la interpretación de Copenhague radica en la delimitación de los límites entre lo cognoscible y lo incognoscible. Ambos enfoques establecen fronteras estructurales al conocimiento humano, pero lo hacen desde presupuestos diferentes que, al confrontarse, revelan la complejidad y la radicalidad de esta cuestión. Mientras Kant fundamenta estos límites en condiciones trascendentales *a priori*, la mecánica cuántica los establece a partir de restricciones físicas y contextuales inherentes al acto de medición. Esta confrontación no solo enriquece la comprensión de ambos sistemas, sino que obliga a replantear un problema persistente en la epistemología: ¿hasta dónde

puede llegar el conocimiento humano y qué es aquello que, por principio, permanece necesariamente fuera de su alcance?

En el centro de esta distinción nace la pregunta por los límites de la mente finita frente a una realidad que siempre excede sus capacidades constitutivas. Esta problemática hace ruido cuando se pone en diálogo con la interpretación de Copenhague y los experimentos como el de doble rendija, los cuales, inspiran la mecánica cuántica. Tanto en Kant como en Bohr y Heisenberg, el conocimiento no es un reflejo pasivo de una realidad independiente, sino un acontecimiento relacional en el que el sujeto (o el observador) participa activamente en la constitución del fenómeno, reconociendo al mismo tiempo límites estructurales inevitables. Tal como se ha expresado reiterativa a lo largo de todo el trabajo, este diálogo revela una afinidad profunda: ambos paradigmas desplazan la objetividad clásica hacia una objetividad reflexiva, contextual y constitutiva.

3.3 El fenómeno como dominio de lo cognoscible: la construcción categorial

Para Kant, la distinción entre lo cognoscible y lo incognoscible es clara, estructural y trascendental. Lo cognoscible es puesto dentro del ámbito del fenómeno, en el que todo conocimiento humano está condicionado por las formas *a priori* de la sensibilidad y por las categorías del entendimiento, sólo dentro de estos límites es posible una experiencia objetiva. Fuera de ellos se encuentra la cosa en sí o *númeno*, que Kant define como incognoscible en principio. El *númeno* no es un objeto positivo que podamos conocer; es un concepto límite (*Grenzbegriff*). Kant lo describe como un concepto problemático, es decir, un concepto que no contiene

contradicción, pero que señala los límites inevitables de nuestra facultad cognoscitiva, tal como es descrito en el siguiente fragmento:

El concepto de *númeno*, es decir, el de una cosa que ha de ser pensada (sólo mediante un entendimiento puro) como cosa en sí misma, y no como objeto de los sentidos, no es en absoluto contradictorio. En efecto, no se puede afirmar que la sensibilidad sea la única clase de intuición posible. Además, el concepto de *númeno* nos hace falta para no extender la intuición sensible a las cosas en sí mismas y, consiguientemente, para limitar la validez objetiva del conocimiento sensible (en efecto, las demás cosas a las que no alcanza dicha intuición reciben el nombre de *númenos* a fin de mostrar precisamente que esos conocimientos no pueden aplicarse a todo cuanto el entendimiento piensa). Sin embargo, el resultado es que no se entiende la posibilidad de tales *númenos*. Lo que está fuera del campo de los fenómenos es (para nosotros) vacío. En otras palabras, tenemos un entendimiento que rebasa, *problemáticamente*, los fenómenos, pero no una intuición —ni siquiera el concepto de una intuición posible— mediante la cual puedan dárseos objetos fuera del campo de la sensibilidad y mediante la cual sea posible emplear *asertóricamente* el entendimiento más allá de esa sensibilidad. (Kant, 1781/1787/1997, A255/B310)

El conocimiento sólo puede limitarse en términos informativos a las representaciones de nuestra sensibilidad. La cosa en sí existe, pues Kant la postula como necesaria, pero permanece necesariamente incognoscible porque está libre de las condiciones que hacen posible todo conocimiento. De hecho, esta se

muestra como un límite de la propia intuición y sus alcances respecto al mundo, a su acceso al mismo. El *númeno* es inaccesible debido a que rebasa las capacidades de la sensibilidad y categoriales del sujeto. Aquellos límites también trazan la validez del propio conocimiento y como se intenta dar paso a cierta universalidad del conocer, en el que esa accesibilidad limitada es en parte el mapa que nos guía a comprender al sujeto y las diferentes formas en las que el pensamiento se guía a través de la propia experiencia. Estas precisiones por parte de Kant no son adrede, sino que obligan a estudiar el propio pensamiento, permitiendo que exista lo incognoscible. Desde el reconocimiento de aquello inaccesible se puede divisar con mayor precisión el dominio que el sujeto tiene sobre aquello que cree conocer o que desea conocer. Para Kant, lo cognoscible se identifica estrictamente con el fenómeno (*Erscheinung*). Este no es una apariencia ilusoria, sino el único objeto posible de conocimiento científico. Su constitución exige la síntesis entre la receptividad sensible y la espontaneidad del entendimiento. Como afirma Yáñez:

La doble fuente del conocimiento, esto es la receptividad de las sensaciones y la espontaneidad de los conceptos, posibilita [...] que un objeto sea dado y pensado: ‘sin sensibilidad no nos sería dado ningún objeto, y sin entendimiento ninguno podría ser pensado. Pensamientos sin contenido son vacíos, intuiciones sin concepto son ciegas’ (KrV, B 75). (Xolocotzi Yáñez, 2024, p. 8)

Las categorías del entendimiento operan como condiciones trascendentales que unifican la multiplicidad sensible. Esta construcción activa del fenómeno implica que lo cognoscible nunca es ‘en sí’, sino siempre ‘para nosotros’. El orden

categorial no describe una realidad preexistente, sino que hace posible que algo aparezca como objeto de experiencia. Aquí reside la ruptura paradigmática con el realismo ingenuo de la física newtoniana: el mundo cognoscible no preexiste al acto cognitivo como un dato bruto, sino que surge en la interacción entre mente y sensibilidad. Esta tesis kantiana tiene una fecundidad extraordinaria para el pensamiento contemporáneo. En la física cuántica, particularmente en la interpretación de Copenhague, el fenómeno cuántico no preexiste a la medición; aparece sólo en relación con el observador. El acto de medición determina qué aspecto del sistema se manifiesta. Esta dependencia del contexto experimental es análoga a la dependencia del contexto trascendental kantiano: el fenómeno sólo existe en cuanto es constituido por el sujeto que aplica sus formas *a priori*. La construcción activa del fenómeno kantiano ilumina el rol central del observador cuántico. El sujeto trascendental kantiano encuentra un paralelo poderoso en el observador que, al medir, colapsa la función de onda y selecciona un resultado entre las posibilidades superpuestas. En ambos casos, el fenómeno no es una realidad preexistente; es el resultado de la interacción con el sujeto.

Kant no sólo anticipa esta idea, la fundamenta filosóficamente con un rigor que la física cuántica aún no ha superado. La delimitación del fenómeno como construcción activa del sujeto trascendental sigue siendo, más de dos siglos después, una de las ideas más profundas y fecundas de la filosofía moderna. Ofrece un marco riguroso para entender que todo conocimiento es relativo al sujeto, pero universal y necesario dentro de los límites de la experiencia. En diálogo con la física cuántica, la construcción activa del fenómeno kantiano

ilumina el rol central del observador y confirma que la realidad fenoménica es siempre correlato de la actividad sintética del sujeto.

La interpretación de Copenhague establece límites de naturaleza distinta, pero con un espíritu sorprendentemente afín. El principio de incertidumbre de Heisenberg marca un límite fundamental al conocimiento simultáneo de ciertas variables conjugadas, como posición y momento. Este límite no es técnico ni derivado de la imperfección de nuestros instrumentos, es un límite intrínseco a la naturaleza cuántica. Del mismo modo, el principio de complementariedad de Bohr afirma que ciertas descripciones (onda y partícula, por ejemplo) son mutuamente excluyentes, aunque ambas son necesarias para una comprensión completa del sistema. Solo una de ellas puede manifestarse según el contexto experimental. Existe un paralelismo notable con Kant. Bohr insistía en que los fenómenos cuánticos solo adquieren determinación concreta dentro de un contexto experimental específico. Antes de la medición, el sistema se describe mediante una función de onda que contiene una superposición de posibilidades. El acto de medición (análogamente a la síntesis categorial) ‘actualiza’ una posibilidad, colapsando la función de onda. El observador no es un espectador neutral, su elección del dispositivo experimental (por ejemplo, medir posición o momento) determina qué aspecto del fenómeno se manifiesta.

Tanto en Kant como en Copenhague, lo cognoscible es contextual y relacional. Las categorías kantianas corresponden, en cierto sentido, a las condiciones experimentales clásicas que Bohr exigía para la descripción comunicable de los resultados cuánticos. Fuera de ese marco, el lenguaje pierde su capacidad

descriptiva. Aquí surge una delimitación clara entre lo cognoscible y lo incognoscible, en la que lo cognoscible es el fenómeno que aparece después de la medición, dentro de un contexto experimental específico. Lo incognoscible (o al menos no descriptible de forma completa y simultánea) es la realidad cuántica antes de la medición, en su estado de superposición, antes del colapso de la función de onda. En el punto en el que no es posible asignar valores definidos a todas las propiedades del sistema, la realidad pre-medición permanece, en un sentido profundo, incognoscible en su totalidad. Se da una imitación frente a aquello que no se manifiesta para el sujeto, en ese punto lo incognoscible desde el comportamiento cuántico impone aquella barrera en términos de experiencia, es imposible lograr un acercamiento a ello.

Tanto Kant como Bohr y Heisenberg rechazan la posibilidad de un conocimiento completo e incondicionado de la realidad. Ambos establecen que hay dimensiones de lo real que escapan necesariamente a nuestra capacidad cognoscitiva. En Kant, este límite es trascendental; en Copenhague, es físico-contextual. Sin embargo, ambos coinciden en desplazar al observador al centro de la cuestión epistemológica: los límites del conocimiento no son externos al sujeto, sino que están íntimamente relacionados con las condiciones bajo las cuales el sujeto puede acceder a la realidad.

Una diferencia significativa radica en el carácter de estos límites. Para Kant, los límites son *a priori*, universales y necesarios. Todo sujeto racional finito está sometido a las mismas condiciones. No hay posibilidad de superar estos límites mediante un avance técnico o conceptual. En cambio, los límites establecidos por

la mecánica cuántica son empíricos y contextuales. Dependen del arreglo experimental elegido. Si cambio el contexto de medición, cambio qué aspecto de la realidad puedo conocer. Esta diferencia genera una tensión epistemológica interesante, mientras Kant defiende límites absolutos y universales, la cuántica introduce una relatividad contextual que parece relativizar incluso la universalidad kantiana.

Esta tensión obliga a preguntarse si los límites impuestos por la mecánica cuántica representan una confirmación empírica de los límites trascendentales kantianos o si, por el contrario, revelan que incluso las condiciones *a priori* propuestas por Kant deben ser repensadas a la luz de los descubrimientos físicos del siglo XX. ¿Es el espacio y el tiempo kantianos todavía válidos como formas *a priori* universales en un mundo donde la medición altera la realidad de manera contextual? ¿O debemos considerar que las propias categorías kantianas (causalidad, sustancia) tienen validez sólo en el límite macroscópico clásico?

3.4 Lo pensable: el espacio de la razón más allá del entendimiento

La distinción kantiana entre *conocer* (*erkennen*) y *pensar* (*denken*) representa uno de los momentos más sutiles y radicales de la filosofía crítica. No se trata de una mera diferenciación semántica, sino de un acto fundacional que redefine los alcances y los límites de la razón finita, abriendo un horizonte reflexivo que trasciende el ámbito de lo empíricamente verificable sin caer en el dogmatismo. Esta distinción no es restrictiva, sino liberadora, al delimitar estrictamente el conocimiento objetivo, Kant preserva un espacio fecundo para la razón en su uso

regulativo. Las ideas de la razón no son conceptos constitutivos que pretenden determinar objetos, sino ideas regulativas que orientan el entendimiento hacia la máxima unidad sistemática posible.

La razón, en su dimensión arquitectónica, busca lo incondicionado, aunque nunca pueda aprehenderlo como objeto de experiencia. Esta aspiración mantiene viva la dinámica del conocimiento, impulsando la investigación científica hacia horizontes cada vez más amplios de sistematicidad y coherencia. Lo pensable se convierte así en un espacio de libertad reflexiva, en la cual, la mente finita trasciende los límites del entendimiento discursivo y se proyecta hacia lo que siempre excede su alcance cognoscitivo. Este excedente no es un defecto de la razón, sino la capacidad de reconocerse limitada y, precisamente por ello, de mantenerse abierta al misterio de lo incondicionado. Este espacio de lo pensable adquiere una profundidad inesperada cuando se pone en diálogo con la interpretación de Copenhague. Bohr y Heisenberg, aunque mantuvieron una actitud epistemológica prudente y antimetafísica, preservaron igualmente un ámbito de lo pensable que trasciende lo directamente observable y comunicable. La función de onda de Schrödinger constituye el ejemplo paradigmático. Como subraya Cadenas: “La complementariedad debe ser considerada como un nuevo marco conceptual que permite una descripción unificada de los fenómenos atómicos, superando la ruptura con la descripción clásica” (Cadenas Y., 2004, p. 165).

La función de onda no describe una realidad física concreta antes de la medición, sino un formalismo simbólico que permite calcular probabilidades. Bohr insistía

repetidamente en su carácter instrumental, no es una imagen pictórica de la realidad ‘en sí’, sino un instrumento predictivo. Sin embargo, este instrumento matemático permite pensar una realidad en superposición de estados que no puede ser conocida directamente en un solo contexto experimental. Aquí surge un paralelismo estructural con Kant: lo incognoscible no coincide con lo impensable. Es aquello que podemos concebir como posibilidad matemática, como horizonte de cálculo, pero que no es posible describir completamente dentro de las condiciones de nuestro conocimiento finito.

De hecho, “la teoría cuántica no admite una descripción exclusivamente objetiva de la naturaleza” (Heisenberg, 1958, pp. 106-107), el principio de incertidumbre no sólo marca un límite técnico, sino que revela una estructura ontológica más profunda: la imposibilidad de separar completamente el observador del sistema observado. La incertidumbre no deriva de imperfecciones instrumentales, sino de la propia estructura no conmutativa de la mecánica cuántica. Esta estructura obliga a repensar los límites entre lo observable y lo concebible, abriendo un espacio reflexivo donde la realidad pre-medición permanece como un horizonte que podemos calcular matemáticamente, pero no representar pictóricamente en términos clásicos.

Tanto Kant como la interpretación de Copenhague establecen, pues, una delimitación estructural: lo cognoscible está circunscrito a condiciones estrictas (trascendentales en Kant, experimentales y contextuales en la cuántica), pero lo pensable permanece abierto como horizonte regulativo o especulativo. Bohr era particularmente cauteloso con las interpretaciones ontológicas fuertes, limitándose

a lo observable y comunicable en lenguaje clásico. Sin embargo, la propia existencia de la función de onda como herramienta matemática sugiere que podemos pensar (y calcular) una realidad que no podemos conocer directamente en su totalidad. Esta convergencia invita a una reflexión epistemológica más profunda. Tanto en Kant como en Copenhague, el reconocimiento de límites no equivale a un escepticismo resignado, sino a una madurez reflexiva. Kant transforma la limitación del conocimiento en fundamento de su validez universal dentro del ámbito fenoménico. La interpretación de Copenhague transforma la incertidumbre y la complementariedad en principios constitutivos de una descripción coherente de la realidad microscópica. En ambos casos, aceptar lo incognoscible no empobrece el conocimiento, sino que lo humaniza y lo fortalece.

Aquí emergen ciertas cuestiones: ¿hasta qué punto una ciencia que acepta límites estructurales al conocimiento puede seguir aspirando a una comprensión completa de la naturaleza? Y ¿qué significa para el ser humano ser una razón finita capaz de pensarse a sí misma en su propia limitación? Kant responde que esta autoconciencia crítica es la condición de posibilidad de una metafísica responsable. Bohr y Heisenberg sugieren, desde la física, que esta finitud no es un obstáculo para la ciencia, sino su condición de posibilidad más honesta. La renuncia a una descripción completa y determinista la hace más coherente con la naturaleza participativa y contextual del conocimiento.

Esta reflexión llega a construir cierta ‘humildad epistemológica’ compartida. El conocimiento humano es necesariamente perspectivo, mediado y finito. No podemos conocer la realidad ‘desde ningún lugar’, sino solo desde la posición

situada de un sujeto trascendental o de un observador inserto en un contexto experimental concreto. Reconocer estos límites es una invitación a pensar que el conocimiento nunca es una posesión absoluta de la realidad, sino una relación activa, finita y creativa entre el observador y lo observado.

El diálogo entre Kant y Copenhague sobre el espacio de lo pensable nos invita a repensar la dignidad de la razón finita. Saber dónde terminan nuestras posibilidades de conocimiento objetivo (y mantener, sin embargo, la capacidad de pensar más allá de ellas) es, paradójicamente, una de las formas más elevadas de saber. Es el reconocimiento de que la razón humana, precisamente porque se sabe limitada, puede permanecer abierta al misterio de lo que siempre excede su comprensión. En esa tensión creativa entre lo cognoscible, lo incognoscible y lo pensable reside, quizá, la vocación más profunda del pensamiento: una razón finita capaz de reconocerse en su propia finitud y, precisamente por ello, de seguir pensando.

3.4 Consideraciones finales

Esta tesis ha constituido un ejercicio exploratorio cuyo propósito central fue examinar las implicaciones epistemológicas de la relación fenómeno-observador, estableciendo un diálogo productivo entre la interpretación de Copenhague de la mecánica cuántica y la filosofía trascendental de Immanuel Kant. Lejos de pretender ofrecer una síntesis definitiva o una resolución concluyente de los problemas planteados, el trabajo se propuso abrir un espacio de reflexión

interdisciplinaria que permitiera vislumbrar cómo el encuentro entre dos disciplinas aparentemente distantes (la física contemporánea y la filosofía crítica) puede enriquecer de manera significativa nuestra comprensión del conocimiento humano, sus límites y sus posibilidades.

La pregunta guía que orientó esta investigación terminó tomando un camino acerca del cuestionamiento de una relación que es sumamente problemática e indefinible desde los conceptos clásicos. Tanto la interpretación de Copenhague como la filosofía kantiana coinciden en desplazar al observador/sujeto desde una posición marginal y contemplativa hacia el centro constitutivo del fenómeno.

Desde Kant, el fenómeno no preexiste al sujeto trascendental, sino que surge de la síntesis activa entre la sensibilidad y el entendimiento mediante las formas *a priori* y las categorías. De manera análoga, en la interpretación de Copenhague, el fenómeno cuántico no posee propiedades definidas independientemente de la medición, es el contexto experimental y la interacción con el observador lo que actualiza una posibilidad entre muchas, produciendo el colapso de la función de onda.

Este paralelismo estructural revela una lección epistemológica fundamental: el conocimiento no es nunca un reflejo pasivo de una realidad independiente, sino un acontecimiento relacional en el que el sujeto/observador participa activamente en la constitución de lo cognoscible. Tanto Kant como Bohr y Heisenberg nos obligan a reconocer que toda descripción objetiva está mediada por condiciones necesarias (trascendentales en un caso, experimentales en el otro). Esta mediación fundamenta el conocimiento sobre bases más honestas y reflexivas.

El diálogo permitió identificar tres grandes aportes mutuos:

- La construcción activa del fenómeno: Kant proporciona una fundamentación filosófica profunda para comprender que el observador no es neutral. La interpretación de Copenhague ofrece una concreción experimental de esta idea, en la que el acto de medición no revela una realidad preexistente, sino que participa en su manifestación.
- Los límites estructurales del conocimiento: Kant delimita lo cognoscible (fenómeno) frente a lo incognoscible (*númeno*) mediante condiciones *a priori*. La cuántica establece límites físicos (incertidumbre, complementariedad) que poseen un eco trascendental: ciertas propiedades no pueden conocerse simultáneamente, y la realidad ‘en sí’ permanece parcialmente velada.
- La inseparabilidad sujeto-objeto: Ambos enfoques rechazan la separación radical entre observador y observado. Esta inseparabilidad transforma la noción clásica de objetividad hacia una objetividad relacional, universal y necesaria en Kant, contextual e intersubjetiva en Copenhague.

El carácter exploratorio de este trabajo se manifiesta en su voluntad de no cerrar prematuramente las preguntas, sino de abrirlas. Al confrontar dos tradiciones tan distintas, emergen tensiones fructíferas: ¿hasta qué punto las condiciones trascendentales kantianas deben ser repensadas ante la contextualidad cuántica? ¿Puede la complementariedad de Bohr enriquecer la noción kantiana de lo pensable más allá de lo cognoscible? Estas preguntas no encuentran resolución

definitiva en estas páginas, pero su formulación misma enriquece el horizonte epistemológico.

Este diálogo interdisciplinario demuestra que la filosofía y la ciencia no son campos aislados, sino que, cuando entran en conversación genuina, se potencian mutuamente. Kant ofrece a la física cuántica una profundidad conceptual para pensar el rol constitutivo del observador; la mecánica cuántica, a su vez, ofrece a la filosofía un laboratorio empírico extraordinario para poner a prueba y actualizar sus categorías. El resultado no es una síntesis perfecta, sino un enriquecimiento recíproco: una comprensión más madura del conocimiento humano como actividad finita, relacional y creativa.

El ser humano no es un espectador neutral de un universo ya terminado, ni un creador absoluto de la realidad. Es un participante activo y limitado en la co-construcción de los fenómenos que habitamos. Reconocer esta condición no es un signo de debilidad epistemológica, sino de madurez intelectual. Al aceptar nuestros límites y nuestra participación activa en el conocimiento, ganamos una comprensión más profunda y responsable de nuestra relación con el mundo.

El diálogo entre Kant y Copenhague no resuelve todos los enigmas de la epistemología contemporánea, pero ilumina con mayor claridad el camino. Nos invita a seguir explorando, con rigor filosófico y apertura científica, esa fascinante frontera donde el sujeto y el mundo, el observador y el fenómeno, se encuentran y se constituyen mutuamente. En esa frontera creativa, sigue siendo posible ampliar los horizontes de nuestro conocimiento, siempre conscientes de sus límites y, precisamente por ello, más libres para pensar lo que aún permanece por pensar.

Referencias

Bohr N., (1988). *La teoría atómica y la descripción de la naturaleza.*

Alianza editorial.

Cadenas Gómez, Y. (2004). *Epistemología, ontología y*

complementariedad en Niels Bohr (Tesis doctoral, Universidad

Complutense de Madrid). Editorial de la Universidad Complutense de

Madrid.

Feynman, R. P., Leighton, R. B., & Sands, M. (1971). *Física: Volumen III. Mecánica cuántica*. Fondo Educativo Interamericano.

Heisenberg, W. (1927). *Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik* (O. A. Quispe, Trad.). *Sobre el Contenido Descriptivo de la Cinemática y la Mecánica Teórico Cuántica*. Academia.edu

Heisenberg, W. (1958). *Física y filosofía*. Fondo de Cultura Económica.

Heisenberg, W. K. (1969). *Problemas filosóficos de la física de las partículas elementales*. Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, LXIII(3).

Kant, I. (1997). *Crítica de la razón pura* (Ribas P., Trad.). Alfaguara. (Obra original publicada en 1781 y 1787).

Medina C., (2011). *El indeterminismo y el principio de incertidumbre de Heisenberg*. Universidad Autónoma de Aguascalientes.

Mehra, J. (1987). *Niels Bohr's Discussions with Albert Einstein, Werner Heisenberg, and Erwin Schrödinger: The Origins of the Principles of Uncertainty and Complementarity. Foundations of Physics*.

Ruiz Sosa, E. M. (2012). *La Observación en la palabra: la función de los experimentos imaginarios en el desarrollo de la física cuántica: 1927-1936*.

Valladares, D. L. & Sanz Ferramola, R. (2011). *Interpretación de Copenhague: de la explicación al instrumento predictivo. Fundamentos en Humanidades*, XII(23), 25-35

Xolocotzi, Á., Gibu, R. A., & Chávez, R. A. (Coords.). (2024). *Encuentros y debates con Kant y la fenomenología*. LAMBDA Editorial.