

Universidad de Chile
Facultad de Filosofía y Humanidades
Departamento de Filosofía - Escuela de Postgrado

EL PROBLEMA DE LA MATERIA EN HEISENBERG

Tesis para optar al grado de Magíster en Filosofía Mención: Epistemología

Alumno:

Javier Kasahara B.

Profesor Guía: Dr. Alejandro Ramírez F.

Santiago, Marzo, 2003.

Tesis financiada con BECA DE FINANCIAMIENTO PARCIAL DE TESIS DE POSTGRADO.
Departamento de Postgrado y Postítulo, Universidad de Chile. Beca N° PG/52/02.

AGRADECIMIENTOS .	1
RESUMEN .	3
Epígrafe . .	5
INTRODUCCIÓN .	7
Delimitación formal de la investigación .	7
La formulación de la teoría cuántica . .	9
Aproximación histórica . .	9
Consideraciones filosóficas . .	14
La pregunta por la materia: recorrido preliminar . .	15
Heisenberg y la pregunta por la materia . .	18
LAS INFLUENCIAS FILOSÓFICAS EN WERNER HEISENBERG .	23
Consideraciones preliminares . .	23
Aproximación biográfica .	24
Aproximación filosófica .	29
Platón .	29
Kant . .	34
Aristóteles .	37
EL PRINCIPIO DE INCERTIDUMBRE Y EL PRINCIPIO DE COMPLEMENTARIEDAD . .	43
El principio de incertidumbre .	44
El principio de complementariedad .	48
Materia: incertidumbre y complementariedad .	52
LA FILOSOFÍA DE LA FÍSICA EN HEISENBERG: ONTOLOGÍA DE LA MATERIA .	55
Heisenberg y la materia .	56
CONCLUSIÓN: REFLEXIONES A POSTERIORI . .	61
Bibliografía .	69

AGRADECIMIENTOS

La presente tesis no hubiera podido llegar a feliz término sin el apoyo constante de las personas aquí mencionadas.

Dominus firmamentum meum, et refugium meum, et liberator meus ... sin tu presencia nada soy.

A mis padres, por el cariño, atención y respaldo entregados en mi formación académica.

Al profesor Dr. Alejandro Ramírez. Agradezco su disposición al haber guiado desde un principio la presente investigación. Sus comentarios, sugerencias y rigurosidad a la hora de evaluar mis avances, resultaron ser siempre fructuosos.

A mis amigos de siempre, por respetar mi *ausencia* en estos meses de investigación.

...y (por supuesto) a **Sandra, *musa carissima***, inspiración constante. Gracias por tu compañía, amor, cuidado y paciencia, presentes más allá de los márgenes de la formalidad.

RESUMEN

El asunto de la presente investigación pretende abordar el tema de la materia en el físico contemporáneo Werner Heisenberg. Partiendo de la tesis de que la física ha buscado siempre la unidad en la formulación de teorías frente a la multiplicidad fenoménica, se busca estudiar la teoría cuántica desde una perspectiva filosófica, como un intento más por alcanzar dicha unidad. Dado que la ciencia, desde la perspectiva de Popper, es un saber conjetural, a lo largo de la historia se ha tenido que reformular y restringir la validez de las teorías a la luz de nuevos resultados experimentales. La historia de las ideas científicas está marcada por diversos hitos que han llevado a un claro diálogo interdisciplinario entre ciencia y filosofía. Uno de estos “momentos” es la elaboración de la teoría cuántica. Al interior de dicho momento se encuentra Heisenberg.

Así, la búsqueda por la unidad en toda teoría física es inherente a su propia estructura. Ahora bien, la física contemporánea surgió como consecuencia del descubrimiento de una serie de fenómenos que no eran posibles de abordar mediante la física clásica. De este modo, el estudio de las estructuras atómicas volvió a sacar a luz la vieja interrogante, ¿de qué están hechas las cosas?. Dicho de otro modo, ¿es posible concebir un mundo físico que se sustente en un fundamento material único y que a su vez sea posible conocerlo, es decir, de acceder a él?

Con todo, la tesis consiste en mostrar la filosofía de la física que se encuentra, en muchos puntos implícita, en la obra de Werner Heisenberg y circunscribirla al problema de la materia; entendiendo por tal problemática, la pregunta por el fundamento de la realidad. Con ello se pretende mostrar cómo el pensamiento de Platón y Aristóteles determinan, filosóficamente hablando, la búsqueda por el fundamento último del mundo físico en el mencionado autor.

Teniendo presente este desarrollo hemos pretendido mostrar que a través de dicho diálogo interdisciplinario entre física y filosofía, Heisenberg elabora una concepción simbólica de la materia muy en la línea de un idealismo platónico, aunque matizado en muchos puntos por un realismo aristotélico.

Epígrafe

“Por tanto, Sócrates, si en muchos temas, los dioses y la generación del universo, no llegamos a ser eventualmente capaces de ofrecer un discurso que sea totalmente coherente en todos sus aspectos y exacto, no te admires. Pero si lo hacemos tan verosímil como cualquier otro, será necesario alegrarse, ya que hemos de tener presente que yo, el que habla, y vosotros, los jueces, tenemos una naturaleza humana, de modo que acerca de esto conviene que aceptemos el relato probable y no busquemos más allá”

Platón, Timeo

“Quien medita la filosofía de Platón sabe que el cosmos se define por medio de imágenes”

Heisenberg, Diálogos sobre la física atómica

INTRODUCCIÓN

Delimitación formal de la investigación

La física ha intentado, a lo largo de la historia del pensar, dar un ordenamiento a la multiplicidad fenoménica presente en el mundo natural. Este ordenamiento aspira, por medio de la elaboración de teorías, encontrar una unidad en el cambio. Desde los intentos más intuitivos por parte de los presocráticos, hasta las formulaciones de Newton y de la ciencia moderna entera, encontramos esta especie de ideal, que pasa a ser como el motor interno de la labor científica.

Mas, esta búsqueda, iniciada y re-iniciada constantemente, presupone siempre un punto de partida, un suelo originario desde el cual surge la labor de la física. Este suelo originario, que se extiende a lo largo de la tradición, contiene supuestos que escapan al método científico y es el ámbito en donde encontramos un diálogo, a menudo implícito, entre física y filosofía.

Pretendemos, a lo largo de la presente investigación, internarnos en este ámbito implícito con el fin de abordar la noción de materia. Esta noción se relaciona con dicho ámbito por cuanto la materia es uno de los **presupuestos** de toda teoría física ¹ Estos

¹ Los otros dos son espacio y tiempo.

presupuestos adquieren al interior de estas teorías el rango de categorías, vale decir, predicados axiomáticos que el entendimiento utiliza para la comprensión del mundo² Por ende, toda especulación llevada a cabo por la física implica una relación primaria con el mundo natural, que es en el cual estamos y desde donde intentamos constantemente acceder mediante un ordenamiento conceptual. Esta relación primaria con el mundo natural no suele ser puesta en evidencia. “El mundo es anterior a sus elementos, él les da realidad. El mundo puede ser considerado más bien como el amplio campo de la actividad humana, el cual tan lejos como concierna a la actividad e investigación humana está presupuesto por la actividad de hacer y cuestionar. Es parte explorado y parte misterio. Pero la parte que es misterio no permanece totalmente oculta. Está prefigurada en esbozo como el dominio completo al cual puede atenerse la actividad humana empírica”³

Desde un punto de vista filosófico, pretendemos examinar la noción de materia con el fin de mostrar que a lo largo de la historia de la física dicha noción ha sido entendida de manera vaga, permaneciendo en el horizonte mismo entre física y filosofía. Las tentativas de respuestas, siempre replanteadas a la luz de nuevos datos experimentales, ponen en evidencia lo complejo e interesante del asunto. De aquí que, la noción de materia sea una problemática propia de una reflexión filosófica.

Para abordar de manera metódica la problemática de la presente investigación, realizaremos una doble delimitación. Por una parte nos centraremos en uno de los períodos de crisis más recientes en la historia de la física, a saber, la formulación de la teoría cuántica⁴ La elección de un período de crisis no resulta, a juicio nuestro, ser arbitrario. Es precisamente en este tipo de períodos donde es posible encontrar replanteamientos y cuestionamientos por parte de quienes tomaron parte en dicha época. Al interior de esta época, nos centraremos de manera particular en el físico alemán Werner Heisenberg, por cuanto su obra, a juicio nuestro, se construye a partir de un diálogo constante con la tradición filosófica.

Por otra parte, la segunda delimitación alude a Heisenberg mismo. El pensamiento de nuestro físico resulta mucho más fecundo y complejo de cómo se suele exponer en monografías y artículos correspondientes a la literatura filosófica. Para ello nos hemos centrado en la relación que mantuvo con la filosofía griega, en particular con el pensamiento de Platón y el de Aristóteles. Gracias a una especial coincidencia, Heisenberg estuvo imbuido por la tradición helena debido a la profesión de su padre y abuelo, ambos profesores de lenguas clásicas. Es por ello que, el diálogo entablado con

² Sin duda que gran parte de la discusión epistemológica a lo largo de la historia de la ciencia se ha centrado en poder determinar si estos principios poseen un valor subjetivo u objetivo.

³ Patrick A. Heelan, *Quantum mechanics and objectivity: a study of the physical philosophy of Werner Heisenberg*, Martinus Nijhoff, The Hague, 1965, p. 3

⁴ La expresión *teoría cuántica* la referiremos como término general que comprende tanto la *mecánica cuántica* (teoría formulada por Werner Heisenberg en 1925) como la *mecánica ondulatoria* (teoría elaborada por Erwin Schrödinger en 1926). Para esta distinción de términos hemos seguido a Patrick A. Heelan, *op. cit.*

estos dos importantes filósofos resulta estar acuñado mediante un especial toque personal.

Por ende, nuestra investigación pretenderá examinar la noción de materia de la mano de uno de los más importantes partícipes de esta crucial etapa en la física contemporánea. No obstante, es nuestra intención dejar en claro que la figura de nuestro autor, junto con la época en la cual se encuentra inserto, son un momento más del problema. Por ende, Heisenberg se muestra claramente un autor con un pensamiento atractivo y fértil para la reflexión filosófica. Herbert Hörz sostiene lo siguiente en las conclusiones a su libro *Heisenberg und die Philosophie*: “El análisis de las opiniones filosóficas de Werner Heisenberg nos ha mostrado la estrecha interdependencia entre las ideas físicas y filosóficas. Como físico sobresaliente, Heisenberg reconoce el significado del pensamiento filosófico. Él se ocupa de la historia de la filosofía, busca comprender el accionar de todas las ideas filosóficas bajo nuevas relaciones y plantea interesantes problemas filosóficos relacionados con el desarrollo de la física”⁵ Claramente nos sumamos al parecer de Hörz en este punto.

Ahora bien, la alusión a otras épocas y pensadores a lo largo de la investigación representan, según nuestro parecer, la instancia propicia para recordar el amplio horizonte en el cual se encuentra la problemática en torno a la materia, la cual recorre de punta a cabo toda la historia de la física y la filosofía. De aquí que, estamos conscientes que el tema mismo de nuestra investigación puede ser abordado desde otra perspectiva, es decir, poniendo énfasis en otro punto. Por ejemplo, la materia en Heisenberg puede ser abordada en relación con la física contemporánea. Aquí, el tema central, desde una perspectiva filosófica, resultaría ser la relación de Heisenberg con el círculo de Viena. Esto no hace más que corroborar lo dicho por nosotros, a saber, la extensión y profundidad del tema en cuestión. Por consiguiente, este horizonte constituye el ámbito para otras posibles futuras investigaciones. Esperamos que la presente tesis constituya un punto de partida para todas ellas.

Por último, hemos realizado traducción propia de los textos en inglés y alemán al momento de citarlos con el fin de facilitar la lectura. A su vez los pasajes en griego del *Timeo* que resultaron de difícil comprensión, han sido cotejados con las respectivas traducciones españolas y alemanas.

La formulación de la teoría cuántica

Aproximación histórica

Desde Galileo en adelante la física pasó a ser una disciplina apodíctica. De la mano del método experimental y de la geometrización del mundo natural, según el ideal cartesiano, la física se aseguró un reinado de aproximadamente tres siglos. Al examinar el ideal que

⁵ H. Hörz, *Heisenberg und die Philosophie*, VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin, 1968, p. 228.

animaba a los representantes de esta disciplina, encontramos algunos postulados básicos en torno a la teoría física que podemos resumir en los siguientes dos ⁶ :

1. Debe ser posible llegar a una descripción del mundo material que de ninguna manera se preocupe ni del sabio que experimenta y que razona, ni de los medios de investigación de que se sirve para observar los fenómenos.

2. La posibilidad de localizar de manera exacta y unívoca en el espacio y en el tiempo todas las transformaciones que se operan en el mundo físico.

Esta concepción permitió la instauración de un determinismo, según el cual todos los acontecimientos del mundo natural estaban regidos y concatenados por medio de una causalidad rígida. Además, era posible acceder racionalmente a este ordenamiento causal por medio de la elaboración de teorías fundadas en los principios de la física, los cuales se remontan a Galileo. Esta elaboración consistía en un modo de proceder que “hacía abstracción completa de los medios empleados para llegar a conocer las distintas partes de este vasto mecanismo, pues si reconocía la existencia de errores experimentales, no veía en ello más que un resultado de la imprecisión de nuestros sentidos y de la imperfección de nuestras técnicas, y admitía la posibilidad de reducirlos indefinidamente, al menos en principio por un adecuado perfeccionamiento de nuestros métodos” ⁷ Este modo de proceder era común a los físicos y estaba completamente al margen de oposiciones filosóficas tan radicales como las entre atomistas y energetistas. Todos ellos “estaban de acuerdo para admitir la validez del cuadro abstracto del espacio y del tiempo, la posibilidad de poder seguir la evolución del mundo físico por medio de magnitudes bien localizadas en el espacio y continuamente variables en el transcurso del tiempo, la legitimidad de descubrir todos los fenómenos por conjuntos de ecuaciones diferenciales” ⁸

Este modo de concebir el mundo natural fue puesto en tela de juicio a comienzos del siglo XX debido al descubrimiento de un nuevo ámbito fenoménico: el átomo. Al interior de este ámbito, el determinismo clásico, junto con el ideal de poder objetivar la completa serie de acontecimientos en el espacio y el tiempo, tuvo que ser replanteado en sus fundamentos con el fin de dar paso no solo a la elaboración de nuevas teorías sino a una nueva concepción epistemológica y ontológica del mundo. Así, la teoría cuántica obligó a replantear los fundamentos de una física que por siglos permaneció como modelo. Naturalmente, hubo una serie de retractores que acostumbrados a la tradición y hegemonía del legado newtoniano, se opusieron a los intentos por formular una nueva imagen del mundo natural. Empero, quienes no sucumbieron al peso de la tradición, se percataron de la importancia de los descubrimientos experimentales realizados desde finales del siglo XIX en adelante. “El período de crisis en física que condujo a la construcción de la teoría cuántica, fue vista en aquél tiempo por aquellos íntimamente conectados con ella, no solamente como un cambio en física, sino como un cambio en la

⁶ Cf. Louis de Broglie, *Física y Microfísica*, Espasa-Calpe, cap. V, Bs. Aires, 1951, p. 128-131.

⁷ *Ibidem*, p. 132.

⁸ *Ibidem*, p. 131.

perspectiva acerca del hombre, la realidad y el conocimiento humano”⁹ Al detenernos un momento acá nos percatamos que las primeras tres décadas del siglo XX estuvieron plagadas de descubrimientos en el área de la física. Por citar algunos, en 1900 Max Planck publica su artículo sobre el **cuanto de acción**, en 1905 Einstein formula la **teoría especial de la relatividad**, mientras que en 1916 Rutherford descubre las **estructuras atómicas**. En medio de este fervor, Einstein corona una tradición que se remonta a Galileo y Newton. De la mano de su teoría de la relatividad, él logra “un marco conceptual nuevo para la unificación de la mecánica, electrodinámica y gravedad que trajo consigo una nueva percepción del espacio y del tiempo. De alguna forma, este marco de ideas es la corona y la síntesis de la física del siglo XIX, más que una rotura con la tradición clásica”¹⁰

Sin duda que la teoría cuántica surge como una consecuencia inevitable ante la abrumadora evidencia de la limitación de la mecánica clásica para dar cuenta del comportamiento de los átomos. En este sentido aquella representa el anhelo imperioso de los replanteamientos y reformulaciones llevados a cabo durante las primeras décadas del siglo pasado. Al interior de esta crisis encontramos cómo en el intento por dar cuenta de manera satisfactoria de los fenómenos atómicos, surge un diálogo filosófico que intenta elaborar una nueva teoría.

Para entender con mayor claridad la teoría cuántica es preciso introducir algunas consideraciones y precisiones históricas con relación a la formulación de esta “nueva” física. En una primera aproximación podemos afirmar que, la formulación de la teoría cuántica puede ser dividida en dos grandes períodos. Una a primera etapa que va desde el descubrimiento del cuanto de acción hasta la teoría del átomo propuesta por Bohr en 1913. Mientras que la segunda etapa va desde los trabajos de Heisenberg y Schrödinger hasta la interpretación probabilística de la teoría cuántica por parte de Max Born.

Podemos afirmar que, el estudio de la luz fue quien contrajo una serie de cuestionamientos respecto a la validez de las teorías clásicas al replantear su supuesta naturaleza continua. Así, la adscripción de propiedades a fenómenos no resulta ser siempre fácil en la historia de la ciencia. “De manera histórica, ha habido casos importantes donde la naturaleza de los fenómenos era mucho menos claro. [Por ejemplo] la luz, la naturaleza de la cual había parecido ser aclarada durante el siglo XIX, pero que tuvo que ser reconsiderada en el siglo XX, y luego una serie de descubrimientos hacia el final del siglo XIX, los rayos catódicos, rayos α , β , γ y los rayos X. El término ‘rayo’ mienta, en efecto, que los científicos no conocían lo que eran”¹¹

Ahora bien, sin duda, el suceso que marcó un claro giro con respecto a la concepción clásica en física, fueron los descubrimientos llevados a cabo por Max Planck. Al respecto es menester precisar que desde finales del siglo XIX, comienzan a realizarse estudios en

⁹ Patrick A. Heelan, *op. cit.*, p. 10.

¹⁰ Victor F. Weisskopf, *La física en el siglo XX*, Alianza Universidad, Madrid, 1990, p. 81, 82. La misma idea se encuentra en Louis de Broglie, *La física nueva y los cuantos*, Editorial Losada, 4ª edición, Bs. Aires, 1952, cap. V.

¹¹ A. Whitaker, *Einstein, Bohr and the Quantum Dilemma*, Cambridge University Press, New York, 2000, p. 37.

un área muy particular de la física, a saber, el intercambio de radiación entre los cuerpos y el medio ambiente. Este tipo de intercambio energético fue abordado por los físicos bajo la óptica de la teoría electromagnética de Maxwell, según la cual, la materia es entendida de manera continua. De este modo la representación ondulatoria de la materia era la utilizada por la comunidad científica de entonces. No obstante, las leyes utilizadas para describir el fenómeno de la radiación negra llevaban a conclusiones absurdas. “El resultado claro, pero absolutamente sin sentido de la teoría clásica para cuerpos que irradian es que, cualquier cuerpo, a cualquier temperatura, irradia (y absorbe) energía en un rango infinito”¹² De aquí que las investigaciones de Planck en torno a la radiación negra, permitieron llegar a la polémica conclusión de que la energía que emite la materia resulta ser en cantidades finitas, como pequeños paquetes de energía. Como sostiene De Broglie: “Planck razonó en su teoría de la radiación negra de equilibrio térmico suponiendo que la materia contiene osciladores electrónicos por intermedio de los cuales se hacen los intercambios de energía entre la materia y la radiación ambiente”¹³ Lo fundamental de esta nueva propuesta es el hecho de que “la especie de atomicidad de la acción expresada por la intervención de la constante h implica, pues, la existencia de una interdependencia entre el marco del espacio y del tiempo y los fenómenos dinámicos que tratamos de localizar en él. Esta interdependencia tiene un carácter completamente nuevo y completamente extraño a las concepciones de la física clásica”¹⁴ De acuerdo con los descubrimientos de Planck, la naturaleza es mucho más compleja de lo que nos revelan nuestros sentidos. En nuestra experiencia diaria, el mundo **macrofísico**, los fenómenos suceden según el supuesto de que la materia es continua. Por el contrario a un nivel **microfísico**, el intercambio de energía entre los cuerpos es discontinuo. “La discontinuidad física esencial que ahora se denomina el quantum de acción, nos es prácticamente imposible representárnosla exactamente en su naturaleza, porque ella une, en forma absolutamente contraria a nuestra intuición y a nuestros hábitos de pensamiento, la configuración de los sistemas mecánicos en el espacio y su evolución dinámica en el tiempo...”¹⁵

A partir de la constante de Planck se abrió un nuevo ámbito de investigación para la física y de reflexión para la filosofía. Cabe agregar que, junto a la introducción de la constante h por parte de Planck, está la serie de fenómenos experimentales que corroboraron, en los años siguientes, el carácter discontinuo de la materia, v .gr. *el efecto fotoeléctrico*, el *efecto Compton* y el *efecto Raman*. Nos centraremos un poco en el primero pues fue el propio Einstein quien trabajó en él. En palabras sencillas, el efecto fotoeléctrico dice relación con el intercambio de energía entre la luz y un determinado elemento. “Este fenómeno consiste en que un pedazo de materia expuesta a la acción de una radiación de longitud de onda suficientemente corta, proyecta a menudo a su

¹² *Ibidem*, p. 93.

¹³ Louis de Broglie, *La física nueva y los cuantos*, p. 98.

¹⁴ *Ibidem*, p. 100.

¹⁵ Louis de Broglie, *Física y microfísica*, cap. II, p. 55.

alrededor electrones en movimiento rápido”¹⁶ Al estudiar este fenómeno, Einstein confirmó la hipótesis de los **cuanta** de Planck, al aplicar satisfactoriamente a la luz los supuestos de Planck. Einstein, al aplicar la constante h logra dar cuenta de manera satisfactoria del intercambio de energía entre un electrón y una partícula de luz, hoy denominada **fotón**. En otras palabras, el electrón asociado a un determinado átomo (núcleo), es expulsado de este último, al recibir el impacto de un fotón¹⁷, siempre y cuando la energía del fotón supere la fuerza que mantiene al electrón confinado a dicho átomo.

Con todo, el descubrimiento del fotón, reveló un carácter corpuscular de la luz, con lo cual se puso en el centro de la discusión la pregunta por la materia. Junto a esta serie de descubrimientos, surgió la espectroscopía. Este trabajo consistía en poder estudiar el recién formulado átomo. Mediante el estudio de los rayos luminosos emitidos por los átomos en condiciones experimentales, se intentó acercarse a la descripción y comprensión de tan diminuto fenómeno. “La estructura del átomo no puede ser revelada más que por fenómenos observables en nuestra escala y que son consecuencias de esta estructura. Entre estos fenómenos figuran los espectros de rayas luminosas emitidas en ciertas condiciones de excitación térmica o eléctrica por los átomos de los cuerpos simples. Estas rayas luminosas son, en efecto, acontecimientos que se producen al interior de estos átomos y pueden, por lo tanto, informarnos sobre su estructura”¹⁸ Al interior de este intento encontramos la labor realizada por Niels Bohr. Él intenta una categorización del ámbito atómico, muy intuitivo. Tendrán que pasar algunos años para que sobre este primer intento surjan teorías más sólidas, desde un punto de vista matemático. Mas, en 1913, publica un ensayo sobre las órbitas cuánticas en el átomo de hidrógeno. Él introduce la noción de cuanto de acción propuesta por Planck en 1900, a la descripción de los átomos. De acuerdo con esto, Bohr llega a la formulación de los estados cuánticos. Esta formulación conlleva la idea de la cuantificación de las órbitas de los electrones. Esta idea marcó el inicio de un ámbito nuevo al lograr conciliar la química con la física, dos disciplinas consideradas independientes hasta antes de las ideas propuestas por Bohr. “La química, por una parte, era la ciencia de la materia y de sus propiedades específicas. El átomo era un concepto de la química, el átomo de oro, de oxígeno, de plata: entidades específicas diferentes cuya existencia se conocía pero no se comprendía. La física, por otra parte, era la ciencia de las propiedades generales del movimiento, de tensión y de presión, de campos eléctricos y magnéticos, las dos ciencias estaban muy lejos una de la otra. Uno aún no era capaz de contestar la cuestión: **«¿de dónde provienen las propiedades específicas de la materia?»**”¹⁹ De acuerdo con esta idea, la cualidad, es decir, las propiedades de los elementos, se explican con relación al número de electrones que posee cada átomo.

¹⁶ Louis de Broglie, *La física nueva y los cuantos*, p. 101, 102.

¹⁷ El electrón absorbe la energía del fotón.

¹⁸ Louis de Broglie, *op. cit.*, p. 112.

¹⁹ Victor F. Weisskopf, *op. cit.*, p. 66. La negrita es nuestra.

Ahora bien, una segunda etapa en la formulación de la teoría cuántica la encontramos en Heisenberg y Schrödinger. Por caminos totalmente distintos, Heisenberg elabora su mecánica matricial, mientras que Schrödinger desarrolla la mecánica ondulatoria. Ambas teorías convergen en una gran síntesis, la teoría cuántica, la cual puede expresarse como una interpretación probabilística de los fenómenos atómicos. Mas, es importante tener presente, al menos como marco histórico, que las investigaciones de Schrödinger tuvieron desde un comienzo una amplia aceptación por parte de la comunidad científica. Ello debido a que se basaba en la teoría electromagnética, la cual era ampliamente aceptada durante aquella época. Sumado a ello estaba la gran elegancia y simplicidad matemática. Por el contrario, la mecánica matricial de Heisenberg resultaba ser extremadamente abstracta y por otra parte intentaba la osada propuesta de proponer una concepción discontinua de la materia, la cual era contraria al espíritu científico y filosófico de la gran mayoría. “Comparada con la vivacidad, elegancia y calidad pictórica de la mecánica ondulatoria, la mecánica matricial era, como Schrödinger sostenía, ‘von abschreckender ja abstossender Unaanschaulichkeit und Abstraktheit’[de una espantosa y repulsiva inevidencia y abstracción]”²⁰

Consideraciones filosóficas

Luego de estas aclaraciones retornemos a las paradojas e implicancias filosóficas que entrañaban estos nuevos sucesos. Al respecto afirma Heelan: “Incluso en el momento de su nacimiento, Heisenberg, Bohr y el pequeño círculo de íntimos que los rodeaba, sabía que la estructura de la mecánica cuántica era de una importancia crítica, más que por un método científico. **Ellos se percataron que destruía una ontología de la naturaleza y que afectaba profundamente la ciencia de la estructura íntima de la mente humana**”²¹ Científicos como Bohr y Heisenberg sabían que los descubrimientos puestos en evidencia por los experimentos atómicos eran cruciales, pues les obligaba a recurrir a una descripción nomológica distinta de la clásica. Dicho en otras palabras, el quiebre de la teoría cuántica con respecto a los postulados de Newton estriba en la descripción de los fenómenos observados con relación a las categorías de espacio y tiempo. Al respecto afirma De Broglie: “El postulado común a todas las teorías de la física clásica es que es posible representarse el estado del universo físico por elementos distribuidos en el marco del espacio de tres dimensiones y que evolucionan de una manera continua en el curso del tiempo. El movimiento de los elementos físicos está definido por el modo como varía su posición en el curso del tiempo”²² Este devenir, como ya señalábamos al comienzo, de los fenómenos físicos en un espacio y tiempo absolutos, permitió la instauración de un determinismo que reinó ampliamente hasta comienzos del siglo XX.

Así por ejemplo, el modelo atómico propuesto inicialmente por Rutherford sufrió

²⁰ Patrick A. Heelan, *op. cit.*, p. 34.

²¹ *Ibidem*, p. 23. La negrita es nuestra.

²² Louis de Broglie, *op. cit.*, p. 89.

muchas modificaciones a la luz de la imposibilidad de poder aplicar los conceptos clásicos de la mecánica newtoniana. Esta imposibilidad dio paso a cuestionamientos que desembocaron en la formulación de la teoría cuántica. De acuerdo a la mecánica de Newton, un sistema planetario como el nuestro al ser perturbado por una fuerza externa, por ejemplo un gran meteorito, altera su ordenamiento, dando origen a uno nuevo. De este modo, los datos ²³ de nuestro sistema planetario en un momento “a”, permitirían predecir la situación del sistema planetario en un momento “b”, en donde “a” es distinto de “b”. Lo fundamental de este ejemplo es que el momento inicial “a” es distinto al momento final “b”. Ahora bien, en el caso del comportamiento de los átomos no acontece lo mismo. Por consiguiente, dada la imposibilidad de poder describir los fenómenos atómicos según el esquema clásico era necesario recurrir a uno nuevo. Mas, para ello era preciso elaborar una concepción teórica que salvara las restricciones impuestas por el cuanto de acción, a saber, que no es posible aislar espacio y tiempo del movimiento mismo del fenómeno a observar. “Esto muestra que la dualidad de las ondas y los corpúsculos, la necesidad de emplear dos imágenes, en apariencia contradictorias, para describir los mismos fenómenos, está íntimamente unida a la existencia del quantum de acción” ²⁴

Luego de la síntesis lograda a finales de la segunda década del siglo pasado, la física comenzó a adentrarse hacia las estructuras de la materia, alejándose cada vez más de nuestra experiencia cotidiana. Al interior de este marco histórico y conceptual que hemos expuesto, encontramos a Heisenberg, quien resulta ser una fuente de primer orden a la hora de penetrar en este diálogo filosófico. Si bien es cierto, en tan sólo cinco años puso las bases de su mecánica cuántica ²⁵, ello fue tan solo el inicio de una serie de interrogantes fundamentales, tal como la pregunta por la materia. Esta última permaneció a lo largo de toda su labor intelectual.

La pregunta por la materia: recorrido preliminar

Partamos sosteniendo, en primer lugar, que la noción de materia es un supuesto fundamental de toda investigación sobre el mundo natural y ello se debe a que la materia está en relación directa con la búsqueda por la unidad del mundo fenoménico. Esta búsqueda es tan antigua como la filosofía misma. Como afirma Herbert Hörz: “La pregunta por el origen del mundo es una de las preguntas más antiguas e importantes de la filosofía” ²⁶ Mas, esta pregunta fue con el paso del tiempo sistematizándose, **dando con ello paso al ordenamiento del mundo natural por medio del pensar racional**, lo

²³ Los datos a los que nos referimos son del tipo clásico: tiempo, velocidad y distancia. Obviamente llevados a un nivel como nuestro ejemplo, los datos requeridos son numerosos y complejos, v. gr., velocidad de traslación, rotación, fuerza gravitacional, entre otros.

²⁴ Louis de Broglie, *Física y microfísica*, p. 140.

²⁵ También conocida como *mecánica de matrices*.

cual marcó el alejamiento gradual de los mitos y el inicio de la ciencia de la naturaleza. Dicho inicio es posible encontrarlo ya en los intentos especulativos por parte de la filosofía presocrática. Así, lo mudable fue contrapuesto a lo permanente. En esta búsqueda por una unidad de tipo “trans-física”, está el anhelo por encontrar la respuesta al cambio constante que observamos a cada momento en el mundo natural. Por ende, en la contraposición permanente-mudable encontramos el fundamento mismo de una reflexión acerca de la naturaleza. Este ordenamiento, al interior del mundo griego, fue efectuado de manera totalmente especulativa. “Esto explica por qué la física y la metafísica se ordenan la una a la otra. Pero hay que pensar también que la física griega, lo mismo que la metafísica, es una ciencia puramente contemplativa. Observa su mundo desde lejos, sin ser afectada por él, de una manera pasiva y carente de interés práctico. Ve en la posibilidad de una tal distancia teórica una categoría especial. De esta postura teórica depende también, el que en la física antigua el experimento nunca alcanzara una importancia especial”²⁷ Al interior de esta concepción de mundo, distante y teórica, el intento por alcanzar una unidad “trans-física” de tipo esencialista, que diera cuenta de la multiplicidad fenoménica, marca el rumbo de las especulaciones sobre la materia entre los griegos y por extensión de la tradición entera.

Ahora bien, esta unidad fue asociada inicialmente con un tipo de substancia originaria del cual emanaran todas las cosas y en la cual finalmente se disolvieran. Con el advenimiento gradual del pensar especulativo, dicha unidad fue interpretada de distintos modos, llegando a ser asociada incluso a una noción espacial de tipo geométrico. En medio de este cambio y variedad conceptual podemos distinguir dos grandes posturas respecto a la materia:

- a) materialista
- b) idealista

La postura materialista encuentra su pilar fundamental en las especulaciones llevadas a cabo por Leucipo y Demócrito. Según esta concepción, lo fundamental y primigenio en la naturaleza son los átomos y el vacío. La materia es explicada por medio de una distribución espacial de los átomos. Así, la escuela atomista forma una visión materialista del mundo. “La antigua filosofía griega es siempre intuición esencial, conocimiento del ente. Pero tal *ente* es aquí *materia*. Al profundizar con gran agudeza en el concepto empedocliano-anaxagórico de *parte*, ya no considera lo divisible como elemento último para la captación del entendimiento, sino lo indivisible, el átomo, que en su terminología está claramente definido como *el cuerpo indivisible, la esencia indivisible o naturaleza*, o también –puesto que todos los átomos son iguales por su masa y sólo difieren en la forma- *la forma* (idea). A ese ente *con masa* se trasladan los predicados que Parménides había enunciado del ente (incorpóreo): el átomo se considera asimismo como innato, imperecedero, invariable, simple, limitado”²⁸ Por otra parte, la postura

²⁶ H. Hörz, *op. cit.*, p. 220.

²⁷ Wolfgang Wieland, *Sobre Física y Metafísica*, en Eckart Heimendahl, *op. cit.*, p. 150.

²⁸ W. Kranz, *Historia de la Filosofía*, Tomo I, Parte I: *Los presocráticos*, UTEHA, 4ª edición, 1962, México, p. 89.

idealista concibe la materia como un símbolo, cuya estructura se expresa en el lenguaje matemático, el cual permite acceder a la unidad que fundamenta el mundo fenoménico. Unidad, por cierto, de tipo metafísica. En Platón y en la escuela pitagórica encontramos los inicios de esta idea.

De lo dicho hasta acá resulta interesante hacer notar que tanto las especulaciones atomistas de Leucipo y Demócrito, como la filosofía platónica han pasado a ser el punto de partida ineludible sobre la materia a lo largo de la historia. Estos dos principios, el materialista y el idealista se superponen de manera escurridiza en las reflexiones de diversos pensadores, mostrando con ello el carácter complejo de la noción de materia. Mas, durante varios siglos las especulaciones en torno a la materia siguieron estando avaladas por la reflexión intuitiva, logrando tan solo perfilarse en las reflexiones filosóficas posteriores como una labor de precisión tan solo terminológica y conceptual. Prueba de ello es que las teorías sobre la materia, estaban basadas principalmente en la teoría de los cuatro elementos, la cual predominó ampliamente en la Edad Media. Solo con el advenimiento del método experimental y junto a él, el pensamiento renacentista *more geometrico*, la ciencia de la naturaleza logró transformarse de manera radical. El resultado de ello, como origen conceptual, lo encontramos en la noción cartesiana de res extensa. Descartes, al acuñar en los supuestos metafísicos de su filosofía la noción de res extensa, introduce uno de las ideas más difíciles de evadir del inconsciente colectivo de la futura tradición científica y filosófica. Idea quizás igualable en cuanto a su influencia, a las concepciones atomistas griegas. Esta idea cartesiana sostiene que el universo entero es materia y esta última no es más que pura extensión. Sobre esta noción de extensión trabajaron tenazmente los físicos y filósofos durante varios siglos, dando como resultado la conocida y predominante cosmovisión mecanicista²⁹ Según esta cosmovisión, la naturaleza no es más que pura extensión, en donde los fenómenos que allí acontecen son entendidos en su carácter de relación. En otras palabras los fenómenos naturales deben ser descritos de manera puramente mecánica, puesto que el mismo supuesto metafísico que subyace a la física. Junto a esta noción materialista del mundo natural, encontramos aparejada, del Renacimiento en adelante, la otra cara de la moneda, a saber, el lenguaje matemático. El advenimiento del pensar matemático constituye una vuelta de tipo *sui generis*, por parte del hombre moderno, a la filosofía platónica. Así, la gran novedad que acontece en la Edad Moderna, la cual pasó a ser su sello característico, resulta ser su modelamiento totalizador del mundo natural. En otras palabras, es la búsqueda por encontrar una ley última que exprese y explique matemáticamente el ordenamiento de los fenómenos del mundo natural. Al respecto sostiene Husserl: “Para el platonismo lo real tenía una *methexis* (participación) más o menos perfecta en lo ideal. Esto abría a la geometría antigua posibilidades de una aplicación rudimentaria a la realidad. En la *matematización galileana de la naturaleza* es esta naturaleza *misma* la que pasa a ser idealizada bajo la dirección de la nueva matemática; pasa a convertirse ella misma –por expresarlo moderadamente– en una multiplicidad matemática”³⁰ Decimos *sui generis*, por cuanto de Galileo en adelante la naturaleza fue sometida al proyecto *more geometrico* de construir un modelo *idealiter* de

²⁹ Para una exposición detallada sobre las respuestas tentativas que se fueron dando a la propuesta inicial de res extensa cartesiana, cf. K. Popper, *El mito del marco común*, Editorial Paidós, Bs. Aires, 1997, capítulo 5.

la realidad. Este proyecto se diferencia de la filosofía platónica por cuanto la idealidad matemática se construye a partir de la propia labor del sujeto pensante. Por ende, es en último término la naturaleza misma la que se encuentra cifrada matemáticamente. De aquí que la apelación a un tercer mundo vaya careciendo cada vez más de sentido para dicho proyecto.

De todo lo dicho hasta acá se sigue el que sea perfectamente plausible hablar de una historia de la materia. Esta noción tan fundamental, supuesto necesario e inevitable de toda teoría física, se ha acuñado en su significación de diversas maneras a lo largo de la tradición. Al respecto afirma Heisenberg: “El concepto de materia ha sufrido un gran número de cambios en la historia del pensamiento. Diferentes interpretaciones han sido dadas en diferentes sistemas filosóficos. Todos estos diversos significados de la palabra están aún presente en mayor o menor grado en lo que concebimos en nuestro tiempo como la palabra ‘materia’”³¹ En el fondo estos cambios sucesivos a los cuales alude nuestro físico, corresponden al anhelo por sustentar las diversas teorías físicas, las cuales no son otra cosa que mera **descripción**, sobre una reflexión filosófica. Esta última consiste en la búsqueda por una **explicación**. De aquí que las elucidaciones en torno a la materia por parte de nuestro autor se encuentren en el punto mismo donde descripción y explicación convergen, dichas elucidaciones corresponden al diálogo entre física y filosofía. No en vano afirmaba Heisenberg que **la ciencia está fundada en conversaciones**.

Heisenberg y la pregunta por la materia

Lo expuesto en el punto anterior nos ha permitido de manera sucinta y esquemática situarnos de manera histórica y conceptual en el horizonte especulativo que se encontró inmerso Heisenberg. Esto nos permitirá aproximarnos con mayor claridad tanto en los orígenes de los cuestionamientos filosóficos que se hayan en la teoría física de nuestro autor, como las respuestas que fue elaborando.

Con el descubrimiento de los átomos y su correspondiente estudio durante las primeras décadas del siglo XX, las antiguas especulaciones presocráticas en torno al fundamento de la realidad volvieron a cobrar vigencia. Así, el acercamiento entre química y física permitió develar la estructura de los átomos, compuestos de electrones y núcleo, lo cual permitió la elaboración de la tabla periódica. Ésta pasó a ser un intento por ordenar el mundo natural en grupos de elementos, los cuales pasaron a ser las unidades últimas. Mas, a la luz de la teoría cuántica, es posible percatarse que la unidad de los elementos está dada por la interacción entre electrones y un núcleo. Esto último abrió paso a su vez a la idea de una unidad más radical, la cual era propia de todos los

³⁰ E. Husserl, *La crisis de las ciencias europeas*, Editorial Crítica, Barcelona, 1991, § 9., p. 22.

³¹ W. Heisenberg, *Physics and Philosophy: the revolution in modern science*, Unwin University Books, 2nd impression, Great Britain, 1958, p 129.

elementos y que desembocó en la física nuclear, es decir, un estudio de las partículas que componen el núcleo.

El poder establecer una confirmación de las especulaciones filosóficas de la vieja escuela atomista, debió ser irresistible para muchos físicos de entonces a la luz de los datos experimentales. De hecho, el postulado de entidades materiales últimas e indivisibles, es la consecuencia lógica dentro del intento de una explicación estrictamente racional del mundo físico, pese a que por muchos siglos fue solo un supuesto metodológico³² Mas, Heisenberg deja en claro que la relación solo es parcial y en muchos puntos el modelo atómico elaborado por la moderna teoría atómica difiere esencialmente de las ideas de Leucipo y Demócrito. “La partícula elemental indivisible de la física moderna posee la cualidad de ocupación del espacio no en mayor grado que otras propiedades tales como, color y solidez de lo material. En su esencia no es una partícula material en el espacio y el tiempo, sino en cierto sentido, solamente un símbolo, en cuya introducción las leyes de la naturaleza adoptan una forma especialmente sencilla. La moderna teoría atómica es de este modo esencialmente diferente de la atomística antigua, puesto que no permite ninguna reinterpretación o elaboración para hacerla coincidir con la concepción ingenuamente materialista del universo”³³

A lo largo de su evolución intelectual mediada en gran parte por influencias filosóficas, Heisenberg intentó siempre alejarse de una concepción estrictamente material del mundo. “[Heisenberg] cambió el punto de vista acerca del mundo, el cual había llegado a ser *clásico* y derrumbó una serie de certezas sobre la cual la física de trescientos años había estado basada. Heisenberg llamó a estas certezas la ‘ontología del materialismo’, esto es, la certeza que la naturaleza estaba allí, sólida y material, infinitamente accesible a la descripción objetiva, en la cual el propósito de cada generación futura de científicos conquistaba un trozo más”³⁴ De hecho, ya en su primera etapa, que podríamos catalogar de empirista, deja en claro que los átomos como unidades últimas solo son símbolos obtenidos mediante una compleja formulación matemática. De acuerdo con esto, la infinita divisibilidad de la materia solo es concebible en un plano lógico no metafísico.

Otro punto importante a tener presente es el hecho de que el estudio y formulación de teorías a un nivel atómico, conlleva el acceso a un ámbito fuera de la experiencia cotidiana. De aquí que la pregunta de Heisenberg por la materia siempre habrá que relacionarla con su **principio de incertidumbre**. Las restricciones epistemológicas que impiden un conocimiento objetivo de los átomos, marcan la pauta de una pregunta que obliga a tener en mente la naturaleza propia del observador, situación que no acontecía en la física clásica. Como ya señalábamos, la teoría cuántica y las modernas teorías atómicas en general, abrieron paso al estudio de ámbitos cada vez más difíciles de

³² Un ejemplo de ello lo encontramos en Newton y su apelación a partículas sólidas, materiales e impenetrables, las cuales son el supuesto para su teoría gravitacional.

³³ Werner Heisenberg, *Philosophic Problems of Nuclear Science*, chapter 4, Pantheon Books Inc., New York, 1952, p. 55, 56.

³⁴ Patrick A. Heelan, *op. cit.*, p. 23.

acceder, tanto matemáticamente como experimentalmente. Teniendo presente estas restricciones y el objeto de estudio de la teoría cuántica, es posible comprender con mayor precisión la filosofía que mueve al pensamiento de Heisenberg.

En una primera etapa empirista, muy en la línea de Mach ³⁵, nuestro autor se percata de las contradicciones que conlleva aplicar las nociones fundamentales de **tiempo, espacio, causalidad y substancia**, tal como las entiende y presupone la física clásica. Esto lo lleva a la concepción de que los átomos en el sentido como se nos dan en la experimentación, meramente son símbolos que nos permiten la formulación de leyes sobre los procesos microfísicos del mundo natural. Como puede verse la influencia en esta etapa de su trayectoria intelectual está muy caracterizada por el empirismo de Mach. “Heisenberg insistió, en sus primeros artículos y conferencias sobre la mecánica cuántica, que las cantidades físicas era solamente real cuando era actualmente observadas, esto es, cuando era instancias describibles en el espacio euclidiano en un instante [tiempo] preciso y dadas en la percepción” ³⁶

Como señalábamos en el punto anterior, ya no es posible objetivar la trayectoria de un electrón según un sistema clásico, puesto que su ubicación en el espacio y en el tiempo perturban dicha trayectoria. Como afirma De Broglie: “Esta interdependencia tiene por resultado la imposibilidad de determinar simultáneamente la posición y movimiento, imposibilidad que es expresada con precisión por las relaciones de incertidumbre de Heisenberg; ella implica la imposibilidad de hacer experiencias y medidas que permitan precisar simultáneamente la localización espacio-temporal y el estado dinámico” ³⁷ Esta etapa muy influenciada por Niels Bohr y **la interpretación de Copenhague** de la teoría cuántica, lo lleva gradualmente, conjuntamente con una fuerte inclinación por el formalismo matemático, acercarse a la filosofía de Kant con el fin de buscar una solución más satisfactoria. Este acercamiento, mediada por la lectura del *Timeo* de Platón le permite alejarse de una interpretación positivista de los fenómenos atómicos. De hecho, Heisenberg siempre miró con recelo este tipo de filosofía. “[Heisenberg] permaneció

³⁵ Sin duda que la figura de Mach no resulta accidental y meramente tangencial en la obra de Heisenberg. Podemos decir que su influencia constituye la base de su primer período intelectual. No obstante ello, dicha influencia se debió a la mediación por parte de Einstein. Heisenberg se identificó mucho en su juventud con los primeros trabajos de Einstein sobre la relatividad. La alusión a datos puramente empíricos y conceptualmente bien delimitados aluden al conocido **principio de economía**, según el cual, una formulación teórica que aspire a un rango científico debe eliminar todo uso de conceptos sin una referencia a lo empíricamente contrastable. Verdad y error están de este modo condicionados por el valor último de la experiencia. Desde este punto de vista, Mach suele ser visto como un anti-metafísico, comúnmente señalado como un “funcionalista” o un “empirista” al modo de Hume. De este modo, para Mach la labor de la ciencia y en particular de la física, consiste en ser una tarea puramente descriptiva. Así, Heisenberg logra recoger esta línea de pensamiento en sus primeros trabajos sobre mecánica cuántica, sintetizado en su noción de “anschaulich”. Posteriormente, como ya veremos, Heisenberg se aleja de esta línea de pensamiento, en gran medida debido a la propia mediación de Einstein. Recuérdese que este último también abandonó la concepción empirista de Mach, para luego abocarse a una concepción realista de la física. Una aproximación interesante sobre este punto puede encontrarse en la obra de S. Mailin, *Nature loves to Hide*, chapter 1: *Mach’s shadow*, Oxford University Press, 2001.

³⁶ Patrick A. Heelan, *op. cit.*, p. 138.

³⁷ Louis de Broglie, *op. cit.*, p. 91.

vinculado al antiguo criterio en filosofía y buscó una explicación racionalista en un nivel más profundo para lo indeterminado e impreciso del nuevo objeto físico. Él lo encontró (...) en una crítica trascendental del nuevo conocimiento científico”³⁸ Basándose en una original lectura, Heisenberg recoge la filosofía trascendental de Kant y la aplica al conocimiento de las partículas elementales en física. Su relectura del noúmeno kantiano a partir del principio de incertidumbre le permiten poner nuevamente en vigencia el pensamiento de Kant, pese a que las categorías de substancia y causalidad no son aplicables satisfactoriamente en la teoría cuántica. Esto a su vez le abrió el camino en pos de una ciencia física que buscara las leyes fundamentales de la naturaleza, las cuales deben ser necesarias y universales. Esta lectura, que marca su período de madurez lo llevará finalmente a una búsqueda por una teoría universal única, la teoría de campos unificada. En este último período Heisenberg se acerca a la filosofía de Aristóteles para llegar a la aseveración de que en la naturaleza el fundamento último es la energía. De este modo, las partículas que ha descubierto la investigación del núcleo pasan a ser manifestaciones de esta realidad primigenia. “Lo físicos hoy en día intentan encontrar una ley fundamental del movimiento para la materia, a partir de la cual todas las partículas elementales y sus propiedades puedan ser derivadas matemáticamente. Esta ecuación fundamental del movimiento puede ser referida, o, a ondas de tipo conocida, protones y ondas de mesones, o a ondas de un carácter esencialmente diferente que no tienen nada que ver con las ondas o partículas elementales hasta ahora conocidas. En el primer caso ello significaría que todas las otras partículas elementales pueden ser reducidas de algún modo a algunos cuantos tipos de partículas elementales de carácter ‘fundamental’. La física teórica actual ha seguido, durante las dos décadas pasadas, mayormente esta línea de investigación. **En el segundo caso todas las diferentes partículas elementales podrían ser reducidas a alguna substancia universal que puede ser llamada energía o materia, pero ninguna de las diferentes partículas podría ser considerada más fundamental que las otras. Esta segunda visión corresponde por supuesto a la doctrina de Anaximandro, y estoy convencido que en la física moderna esta visión es la correcta**”³⁹

Esta búsqueda por una teoría de campos unificada, demuestra con énfasis la constante en la ciencia por buscar la unidad. El acercamiento de Heisenberg a una concepción unitaria y fundamental de la naturaleza le lleva finalmente a la búsqueda por las simetrías, las cuales son un claro antecesor de la actual investigación en torno a la **teoría de cuerdas**. Esto último nos muestra en gran parte cómo nuestro autor, al acercarse a las llamadas simetrías, constantemente tuvo presente todas sus influencias filosóficas. Para él, Platón, Aristóteles y Kant convergen en el anhelo por encontrar una ley fundamental única de la naturaleza. Cada teoría particular corresponde a la descripción de un ámbito de la realidad, en donde estas teorías particulares se agrupan bajo una sola teoría o principio fundamental. Esta concepción de teorías particulares, Heisenberg la llamó **abgeschlossene Theorie** [Teorías cerradas].

Con todo, la pregunta por la materia conlleva, junto con las restricciones

³⁸ Patrick A. Heelan, *op. cit.*, p. 32.

³⁹ W. Heisenberg, *Physics and Philosophy: the revolution in modern science*, p.60. La negrita es nuestra.

epistemológicas planteadas por el principio de incertidumbre, un plano epistémico de índole existencial. En este acceso a un plano en donde la ley causal es reemplazada por las leyes de la probabilidad, donde la substancia como categoría fundamental de nuestro conocimiento debe ser replanteada, Heisenberg nos muestra que el hombre ha entrado en una etapa ⁴⁰ en donde está interrelacionado con lo naturaleza. **“El objeto de la investigación no es la Naturaleza en sí misma, sino la Naturaleza sometida a la interrogación de los hombres, con lo cual, también en este dominio, el hombre se encuentra enfrentado a sí mismo”** ⁴¹ De acuerdo con esto, la pregunta por la materia en Heisenberg se inserta en una búsqueda por encontrar una unidad racional en la estructura de la naturaleza, pero siempre **sobre la base de una estructura teórica que involucre al propio observador.**

En los capítulos siguientes abordaremos de manera más detallada y detenida las influencias filosóficas en Heisenberg, el principio de incertidumbre y el principio de complementariedad con el fin de poder aproximarnos a una comprensión de la noción de materia en nuestro autor y de sus implicancias filosóficas.

⁴⁰ Al ocupar este término aludimos a un doble sentido: histórico y filosófico. Respecto del primero destaca el hecho de que la teoría cuántica marca el inicio de un nuevo período, el cual se caracterizará por un tipo de ciencia muy de la mano de teorías basadas en la probabilidad e interpretación estadística. Respecto del segundo sentido está el hecho de que ante un ámbito tan complejo de acceder epistémicamente, surgen nuevas e inevitables reflexiones filosóficas.

⁴¹ W. Heisenberg, *La imagen de la Naturaleza en la física actual*, Ariel, 2ª edición, 1976, p. 14. La negrita es nuestra.

LAS INFLUENCIAS FILOSÓFICAS EN WERNER HEISENBERG

Consideraciones preliminares

Intentar sacar a luz las influencias filosóficas en Werner Heisenberg implica la tarea no siempre fácil de tener que abordar aspectos propios de su vida. Estos aspectos biográficos no son meros datos históricos, sino que nos remiten siempre a lo que fue la pasión de su vida: la física teórica. Como afirma Cassidy en el prefacio de su biografía: “Al aproximarse a la vida de este hombre, diversas preguntas se presentan de inmediato. ¿Cómo pudo este niño nacido en 1901, escalar tan rápido a la cima de su profesión, obtener una cátedra en física teórica a la edad de 25 años y recibir el premio Nobel a la edad de 32?, ¿Qué impacto tuvieron los períodos más turbulentos de su vida, los sucesos que rodearon el final de la Primera Guerra Mundial – la pérdida de la guerra, la revolución soviética y el Movimiento Juvenil Germano – sobre sus maduras visiones políticas y científicas? ¿Qué impacto tuvieron sus vidas privadas y profesionales sobre sus logros científicos?”⁴² Pretender contestar estas interrogantes nos alejaría ciertamente de nuestro objetivo, mas valgan como referencia de la persona que se encuentra tras la

⁴² David C. Cassidy, *op. cit.*, p. ix, x.

temática que estamos abordando.

Con todo, lo cierto es que las lecturas realizadas por parte de nuestro autor de filósofos tales como Platón, Aristóteles y Kant, fueron hechas bajo la óptica de un hombre fuertemente imbuido por un espíritu teórico y científico, matizado por ese toque peculiar y característico de su persona, a saber, la búsqueda por un ideal estético en la naturaleza. Estos dos aspectos, el abstracto y el intuitivo, que se entrelazan armónicamente en nuestro autor, deberemos tenerlos presentes al momento de analizar la filosofía de la física que subyace en su obra.

Por otra parte, hay que tener en mente la opinión por parte de David Cassidy. A juicio de este último, Heisenberg nunca buscó profundizar mayormente en la filosofía, ni mucho menos elaborar un sistema filosófico en aras de elaborar principios más acabados para su investigación teórica. Basándose en testimonios de Carl Friedrich von Weizsäcker, uno de los más cercanos amigos de nuestro autor, Cassidy pretende elaborar una imagen de Heisenberg en la cual la filosofía fue **solo un simple referente en su labor como físico**. “El colega Weizsäcker, a quien Heisenberg conoció por primera vez en 1926, señala que lo que más atraía a Heisenberg en filosofía –más allá de lo que le interesaba profesionalmente- no era la substancia de los sistemas filosóficos sino más bien su belleza o su valor poético; la misma belleza y poesía que él encontró en la música, en matemáticas y en física. Heisenberg era un idealista en ciencia y música, pero no en un sentido sistemático”⁴³

Afirmamos desde ya nuestro alejamiento de tal postura. Creemos que la filosofía de Heisenberg, entendiéndolo por tal una reflexión sobre la física, posee la peculiaridad de ser un intento original de buscar un fundamento a una física que en tiempos de nuestro autor estaba gestándose y que requería urgentemente cimientos sobre los cuales asentarla. Esta reflexión, hecha por Heisenberg se caracteriza por un constante y tenaz deseo de dialogar con la tradición filosófica, especialmente con la filosofía helena, con el fin de encontrar un punto desde el cual lograr un acercamiento al mundo natural.

Ahora bien, en esta búsqueda es posible encontrar puntos sobre los cuales desarrollar algún acercamiento crítico, filosóficamente hablando. Mas, a juicio nuestro, la originalidad y profundidad permanecen.

Así, abordaremos las influencias filosóficas en nuestro autor desde dos puntos de vistas. Primero, desde una perspectiva más biográfica, haciendo especial hincapié en el modo como Heisenberg se acercó a la lectura de algún filósofo en particular. Segundo, desde una perspectiva filosófica, centrándonos en este punto en un análisis detenido y objetivo de las temáticas que influyeron en Heisenberg.

Aproximación biográfica

El problema de la materia en la obra de Werner Heisenberg puede ser abordado teniendo

⁴³ David C. Cassidy, *op. cit.*, p. 47, 48.

en cuenta las múltiples influencias filosóficas. Sacar a luz estos elementos implica entrar en algunos aspectos propios de la vida de este físico alemán.

Al intentar esta lectura, dos son las vertientes que alimentan y marcan el pensamiento del joven Heisenberg. Una, su afición precoz por las matemáticas, la otra, la formación humanista recibida durante sus años escolares. De la primera puede señalarse que nuestro autor mostró siempre una facilidad para con los números, destacando siempre entre sus compañeros. “Sus mejores materias, para las cuales siempre recibió un 1, fueron matemáticas, física y religión. En las materias principales, griego y latín, recibía solo un 2 [...] A pesar que Heisenberg y sus compañeros estaban fuertemente saturados con estudios clásicos y literatura alemana [...] promovieron un entusiasmo por la ciencia y la tecnología a través de toda la sociedad alemana”⁴⁴ Respecto de la formación humanista, cabe señalar que durante los años de formación escolar, Heisenberg recibió la educación propia de un país que en la cultura griega y latina veía más un ideal político que cultural⁴⁵ Por otra parte está el importante hecho de que tanto su padre, August Heisenberg, como su abuelo, Nikolaus Wecklein, fueron reconocidos profesores de lenguas clásicas. Con todo, la formación humanista recibida durante aquellos años, fue clave en la formación intelectual que nuestro autor fue desarrollando a lo largo de su vida. Valga como una muestra la siguiente reseña de aquellos años: “Durante sus primeros tres años en el Gymnasium, las principales materias eran latín y matemáticas, de las cuales recibía ocho y cuatro horas de clases semanales respectivamente. Al comenzar su cuarto año, recibía seis horas semanales de griego escrito y oral. Tres años más tarde, comenzó dos horas semanales de física. En su último año, Werner leía Horacio y Tácito en latín y a Homero, Sófocles y Platón en griego”⁴⁶

Heisenberg supo, con una gran intuición, ver desde el comienzo el punto en común en donde convergían ambas vertientes disciplinarias. Su afinidad por las matemáticas, en un comienzo reflejado en una atracción por la geometría, se muestra en el gusto por las simetrías. No es de extrañar entonces que esta afinidad por la armonía en los números le llevó a encontrar tanto interés en la filosofía de Platón. Ya en la escuela, el joven Heisenberg, se sintió fuertemente atraído por el trasfondo filosófico de las teorías matemáticas en general. “...Werner recordó sentir una repentina chispa de interés en geometría solo cuando el Sr. Wolff explicó que las proposiciones universalmente válidas pueden ser obtenidas de la geometría y que estas proposiciones corresponden al mundo transitoriamente ‘real’ de los fenómenos físicos. La correspondencia entre las matemáticas y el mundo físico ‘encendió en mí como algo extremadamente curioso y excitante’ escribió”⁴⁷

⁴⁴ David C. Cassidy, *Uncertainty: The life and science of Werner Heisenberg*, W. H. Freeman and Company, New York, 1992, p. 39.

⁴⁵ Para más detalles sobre el aspecto político de aquellos años, cf. David C. Cassidy, *op. cit.*, capítulo 2.

⁴⁶ *Ibidem*, p. 24.

⁴⁷ *Ibidem*, p. 40.

Adentrándonos más en las influencias filosóficas de nuestro autor topamos con la figura de Platón, la cual es sin lugar a dudas la más importante. Esta influencia, que se mantuvo a lo largo de su vida, tuvo un momento inicial que Heisenberg recuerda en sus memorias tituladas *Der Teil und das Ganze: Gespräche im Umkreis der Atomphysik*⁴⁸ Es así como, nuestro joven autor, a la edad de 18 años y privado de responsabilidades escolares debido a las inestabilidades políticas causadas por el gobierno soviético bávaro, dedicaba algunas horas a la lectura de los estudios escolares. “A fin de volver a disponerme paulatinamente para la vida escolar, solía retirarme al tejado del seminario con nuestra edición escolar griega de los diálogos de Platón. Allí, apoyado en el alero del techo y calentado por los primeros rayos del sol, podía estudiar tranquilamente y de cuando en cuando observar el despertar de la vida en la Ludwigstrasse. En una mañana de éstas, cuando el sol empezó a levantarse y la luz iluminaba el edificio de la Universidad y la fuente que lo precede, di con el diálogo *Timeo*, y precisamente con aquel pasaje donde se habla de las partes mínimas de la materia”⁴⁹ Este encuentro, casi anecdótico, con el *Timeo* de Platón, nos sitúa de lleno, desde una perspectiva biográfica, en la temática de nuestra investigación. Sin entrar aún en un análisis filosófico exhaustivo, lo cierto es que Heisenberg descubre en la filosofía de Platón un elemento que desde muy temprano lo cautivó y que ya señalábamos más arriba, a saber, el conocimiento matemático como conocimiento universal y apodíctico del mundo físico en general. De acuerdo con esto, es posible de la mano de las matemáticas acceder a los fundamentos del mundo natural. Este acceso epistemológico al mundo fenoménico, sustentado en este ideal de racionalidad pura, es lo que guió su labor intelectual.

Esta búsqueda por la unidad en el mundo natural por medio de las matemáticas, evoca una clara inclinación por un ideal de armonía de índole platónico en el pensamiento de Heisenberg. De hecho, “la influencia de Platón lo llevó a la convicción que mantuvo todo el tiempo, incluso en sus días empiristas, de que había dos tipos de realidades: realidades inteligibles que eran los objetos de *episteme* o intuición intelectual, y objetos sensibles que eran objetos de intuición sensible”⁵⁰

Sin duda la lectura del *Timeo* preparó la mente de Heisenberg para su futura madurez intelectual, la cual la encontraremos en torno a la formulación de su **principio de incertidumbre**. Siempre desde una lectura biográfica, lo cierto es que nuestro autor tuvo la suerte de poder estudiar física bajo la tutela de Arnold Sommerfeld en la Universidad de München. Allí, Sommerfeld era uno de los pocos físicos dedicados a la física teórica en toda Europa y fue el mentor idóneo para la mente del joven Heisenberg, afín a ámbitos teóricos y abstractos. “Para extrema fortuna de Heisenberg, el instituto de Sommerfeld era único. Era uno entre un puñado de institutos para la física teórica en Alemania y uno de tan sólo dos o tres que realizaba investigación en mecánica cuántica. Más aún, era el único en aquel tiempo preocupado con espectroscopía cuántica teórica”

51

⁴⁸ Obra cuyo título en español es *Diálogos sobre la física atómica*

⁴⁹ W. Heisenberg, *Diálogos sobre la física atómica*, B. A. C., 2ª edición, Madrid, 1972, p. 13.

⁵⁰ Patrick A. Heelan, *op. cit.*, p. 140.

Luego de obtener en Julio de 1923 el grado de Doctor, comienza bajo la guía intelectual de Niels Bohr en Göttingen y más tarde en Copenhague⁵², a trabajar intensamente en la formulación de la teoría cuántica, cuyo resultado fue la mecánica de matrices, sin duda uno de sus más importantes trabajos en física teórica. Junto con ello, la formulación del principio de incertidumbre dio paso a una nueva etapa en la formulación de la teoría cuántica según los ideales de Niels Bohr. Esta nueva etapa permitió lo que tanto anhelaba el físico danés, a saber, una formulación definitiva de la teoría cuántica que diera cuenta de manera satisfactoria de los átomos y de su estructura. Este período puede ser tildado como la consolidación de los esfuerzos de Bohr y sus seguidores y que suele conocerse como el **Kopenhagener Geist der Quantentheorie**⁵³. Este espíritu tiene como base la concepción de que los fenómenos atómicos entrañan para el científico la imposibilidad de poder objetivarlos al modo clásico, es decir, resulta imposible no alterar lo observado en la experimentación misma. David Cassidy, en su obra ya citada, aborda muy bien el proceso de asentamiento que tuvo esta nueva teoría física en la comunidad científica y en el público en general al tildarlo de un **spreading the spirit**. Bohr, rodeado de físicos jóvenes y entusiastas se abocó a la tarea de incentivar a sus discípulos a difundir los fundamentos de la nueva teoría cuántica. Al interior de este llamado encontramos a Heisenberg, quien imbuido por el Kopenhagener Geist, comienza a dar una serie de conferencias y lecturas en distintos lugares del mundo⁵⁴ “Como una condición para aceptar el nombramiento de Leipzig en 1927, Heisenberg había negociado una salida de ocho meses en orden a aceptar una serie de invitaciones a conferencias alrededor del mundo. Con contrataciones en el MIT y en la University of Chicago, luego en Japón e India, Heisenberg abordó un barco en Bremen en los primeros días de Marzo de 1929 para su primer viaje trasatlántico”⁵⁵ Esta serie de conferencias, precedidas por importantes congresos como el de *Como*, Italia (Septiembre 1927) y el 5º Congreso de *Solvay*, Bruselas (Octubre 1927), permiten instaurar ampliamente, pese a las reticencias de Einstein, las ideas de Bohr y Heisenberg en la comunidad científica. Él dictó las lecturas apologéticas de estas nuevas ideas en la University of St. Andrews, Escocia, durante el semestre de invierno, 1955-1956 y fueron recopiladas en su texto titulado *Physics and Philosophy: The revolution in modern science*. En una de ellas afirma Heisenberg de manera clara: “La interpretación de Copenhague de la teoría cuántica parte de una paradoja. Cualquier experimento en física, sea que se refiera a los fenómenos de la vida diaria o a los eventos atómicos, es para ser descrito en términos de la física clásica. Los conceptos de la física clásica forman el lenguaje por medio de los cuales describimos los programas de nuestros experimentos y establecemos los

⁵¹ David Cassidy, *op. cit.*, p. 102.

⁵² München, Göttingen y Copenhague, eran las ciudades alemanas donde se realizaba investigación de primer orden en torno a la nueva teoría cuántica.

⁵³ Para más detalles sobre Niels Bohr y El espíritu de Copenhague cf. V. Weisskopf, *op. cit.*, *Niels Bohr, el cuanto y el mundo*.

⁵⁴ Hay que recordar que Heisenberg en 1927 y con tal solo 26 años comienza a ejercer como Profesor de física teórica en Leipzig.

⁵⁵ David C. Cassidy, *op. cit.*, p. 264.

resultados. No podemos ni deberíamos reemplazar estos conceptos por ningún otros. Aún, la aplicación de estos conceptos está limitada por las relaciones de incertidumbre. Debemos mantener en mente este rango limitado de aplicabilidad de los conceptos clásicos mientras hacemos uso de ellos, pero no podemos ni deberíamos intentar mejorarlos”⁵⁶

Teniendo en cuenta el panorama dentro del cual se enmarca el período de consolidación de la teoría cuántica es que llegamos a la segunda influencia en nuestro autor, a saber, Kant. Empero la obra de Kant no fue una influencia en Heisenberg al modo como lo fue la de Platón. La manera correcta de entender la relación intelectual entre Kant y Heisenberg estriba en que la filosofía kantiana pasó a ser ante todo el terreno donde poder desarrollar una crítica a la física clásica, mientras que la filosofía de Platón fue una clara fuente de inspiración intelectual. “Y así como en ciencia, una o muchas verdades reconocidas como intachables fueron hechas las bases de todas las deducciones futuras, así fue utilizado el mismo sistema en filosofía (el sistema de Descartes y Spinoza servirán como ejemplo). Incluso la filosofía de Kant, intentada como una crítica dogmatizante de tipo prematura en conceptos científicos, no pudo prevenir el entorpecimiento del concepto científico del universo – incluso podría decirse que lo fortaleció. Puesto que, una vez que el razonamiento principal de la física clásica había sido aceptado como el *a priori* de las investigaciones físicas, surgió la creencia, a través de una obvia, si bien falsa extrapolación, que era absoluta, esto es, válida para todo tiempo y que no podría ser nunca modificada como un resultado de nuevas experiencias”

⁵⁷ De esta cita colegimos que la crítica de Heisenberg se orientó hacia el rechazo de una física newtoniana de tipo absoluta y universal. Una filosofía como la de Kant, basada en esta cosmovisión newtoniana, pudo ser puesta en tela de juicio en torno a nociones tan fundamentales como las de **sustancia y causalidad**. Sin entrar aún en un análisis filosófico más detenido, lo cierto es que Heisenberg tuvo que lidiar con posturas contrarias a su posición intelectual, representadas principalmente en Einstein, quien rehusó durante toda su vida a aceptar a la teoría cuántica como una teoría definitiva y completa. La afirmación de Heisenberg, se basa en que a la luz de los postulados de la interpretación de Copenhague, no es posible determinar de manera plena los fenómenos atómicos, dando como resultado una interpretación probabilística de los mismos.

Con todo, lo cierto es que Heisenberg no cayó en la lectura positivista dada por el **Círculo de Viena** a la interpretación de Copenhague. Como ya señalábamos, nuestro autor más que estar en contra de la filosofía kantiana, estaba en contra de una física que considerase una teoría como universalmente necesaria. Esto último lo llevó finalmente a desarrollar en el último período de su vida la concepción de teorías cerradas, las cuales conllevan implícitamente un acercamiento a algunos elementos del pensamiento de Aristóteles. Este acercamiento al pensamiento del estagirita estuvo influenciado por las limitaciones de la filosofía kantiana en torno a los fenómenos atómicos. Dada la imposibilidad de poder objetivar un grupo de átomos, es imposible aplicar las categorías de sustancia y causalidad. **Los átomos serían momentos más que objetos.** “La

⁵⁶ W. Heisenberg, *Physics and Philosophy...*, capítulo 3, p. 47

⁵⁷ W. Heisenberg, *Philosophic problems of nuclear science*, capítulo 1, p. 22.

relatividad [la teoría] desechó lo absoluto de la geometría euclidiana y la mecánica cuántica mostró que la causalidad en ciencia (en el sentido de la legalidad antecedente-consecuente entre fenómenos) no era universal ni necesaria”⁵⁸ Como afirma Heisenberg a propósito de una discusión sostenida con Grete Hermann, filósofa kantiana, en la década del treinta: “...los átomos son partes de situaciones de observación, partes que poseen un alto valor explicativo para un análisis físico de los fenómenos”⁵⁹ Esta supuesta validez absoluta de las categorías kantianas, fundadas en una física newtoniana erróneamente apodíctica, incitan a Heisenberg a tomar las nociones aristotélicas de **acto** y **potencia**, así como su teoría hylemórfica con el fin de desarrollar un pensamiento más acabado en torno a la materia. Este último período, el de madurez, se configura en una búsqueda por una teoría física que sea capaz de unir diferentes teorías físicas con el fin de poder abordar el problema de la materia no desde una unidad atomística, al modo de la filosofía de Demócrito, sino como una búsqueda de simetrías. Desde este punto de vista, la filosofía de la física de Werner Heisenberg en sus últimos veinte años consiste en una concepción de la naturaleza que contiene agrupada ideas tan distintas como el pensamiento platónico, el aristotélico y el kantiano. Al interior de esta visión predomina ampliamente la figura de Platón. “Heisenberg se consideró siempre como un discípulo del *Timeo* de Platón. Detrás del cambio y las apariencias ilusorias del mundo sensible, se encuentran las formas matemáticas reales e inmutables”

60

Aproximación filosófica

Platón

Platón fue la influencia filosófica más importante en el pensamiento de Heisenberg. Específicamente la lectura del *Timeo*, fue la obra que le permitió encontrar un fundamento filosófico a sus investigaciones en el ámbito de la física atómica. De aquí que sea lícito realizar un análisis de este filósofo, centrándonos con especial atención en su mencionado diálogo.

El Timeo es un diálogo perteneciente, muy probablemente, al período de vejez de Platón⁶¹ En esta obra, el filósofo pretende narrar por boca de Timeo, el más versado en

⁵⁸ Patrick A. Heelan, *op. cit.*, p. 140.

⁵⁹ W. Heisenberg, *Diálogos sobre la física atómica*, cap. 10, p. 153.

⁶⁰ Patrick A. Heelan, *op. cit.*, p. 154.

⁶¹ Es una opinión que no ha estado exenta de críticas, sobre todo por el hecho de que en el *Timeo* no se hace una crítica al mundo de las ideas, como acontece en *El Parménides*, diálogo también de madurez. Pese a ello, el carácter unitario del diálogo permite considerar su datación como un problema de segundo orden.

astronomía de los participantes, los inicios del universo⁶² Es una narración en donde las imágenes míticas se entrelazan con el pensar racional, con el fin de elaborar una cosmología. Mas, el diálogo entero se articula entre dos extremos: los orígenes del universo y la naturaleza del hombre⁶³ De aquí su carácter unitario. En esta exposición llevada a cabo por Timeo, el cosmos es presentado como un ser vivo, dotado de alma y cuerpo. Es al interior de él que se encuentra el hombre. Esto explica la estrecha relación entre los dos extremos recién mencionados. El hombre resulta ser un espejo de este gran ser vivo, el cosmos.

Ahora bien, el mundo fue creado según un modelo inmutable, por obra del demiurgo. De este modo, el mundo es según Platón causado, es decir, generado. “Acerca del universo –o cosmos o si en alguna ocasión se le hubiera dado otro nombre más apropiado, usémoslo- debemos indagar primero, lo que se supone que hay que considerar en primer lugar en toda ocasión: si siempre ha sido, sin comienzo de la generación, o si se generó y tuvo algún inicio. Es generado, pues es visible y tangible y tiene un cuerpo y tales cosas son todas sensibles y lo sensible, captado por la opinión unida a la sensación, se mostró generado y engendrado”⁶⁴ Así, en la creación del mundo destaca el hecho de que el demiurgo constituyó aquél conforme a la razón, es decir, el orden es el principio que refleja el modelo del cual fue hecho el cosmos. “Como el dios quería que todas las cosas fueran buenas y no hubiera en lo posible nada malo, tomó todo cuanto es visible, que se movía sin reposo de manera caótica y desordenada, y lo condujo del desorden al orden, porque pensó que éste es en todo sentido mejor que aquél”⁶⁵

Ponemos énfasis en el hecho que el discurso pronunciado por Timeo versa sobre lo cambiante y por ende no puede aspirar a una precisión perfecta. “Por tanto, Sócrates, si en muchos temas, los dioses y la generación del universo, no llegamos a ser eventualmente capaces de ofrecer un discurso que sea totalmente coherente en todos sus aspectos y exacto, no te admires. Pero si lo hacemos tan verosímil como cualquier otro, será necesario alegrarse, ya que hemos de tener presente que yo, el que habla, y vosotros, los jueces, tenemos una naturaleza humana, de modo que acerca de esto conviene que aceptemos el relato probable y no busquemos más allá”⁶⁶ De acuerdo con este modo aproximado de realizar un discurso acerca de la generación del cosmos, Platón está sentando las bases de algo central en el método científico, a saber, el carácter provisorio de las teorías. “La física, como una afirmación acerca de la existencia empírica, tiene que contentarse con ser progresiva y racional [...] Somos dependientes para las mediciones más simples de la evidencia de nuestros sentidos. Los sentidos no

⁶² Los integrantes del diálogo son: Sócrates, Timeo, Hermócrates y Critias.

⁶³ Cf. Oscar Velásquez, *Reflexiones sobre El Timeo de Platón*, Documentos Universidad Católica de Chile, 1978, Santiago, p. 5.

⁶⁴ *Timeo*, 28b-c

⁶⁵ *Ibidem*, 30a.

⁶⁶ *El Timeo*, 29c-30d

infinitamente agudos sólo testifican sobre lo que les es dado en este o aquel lugar y tiempo. Platón de manera correcta insiste sobre este punto”⁶⁷ Este punto, si bien no explícito en la reflexión por parte de Heisenberg sobre la filosofía de Platón, está presente a la hora de abordar las restricciones epistemológicas de la teoría cuántica.

Ahora bien, decíamos que el cosmos está compuesto por un alma y un cuerpo. De acuerdo al discurso pronunciado por Timeo, el alma está compuesta por: lo mismo, lo otro y el ser. Por otra parte, su cuerpo está compuesto a partir de los cuatro elementos: tierra, fuego, aire y agua⁶⁸

Recapitulando el discurso de Timeo podemos afirmar que dos son las causas del mundo:

- a. Inteligencia
- b. Necesidad

Teniendo presente lo dicho hasta aquí, dos son los aspectos que nos interesa destacar respecto a este diálogo. El primero, que está en relación directa con Heisenberg, estriba en la apelación por parte de Timeo a las figuras geométricas como sillares de la realidad. Esta apelación se inserta dentro de la explicación del cuerpo del mundo. Según Platón, los cuatro elementos serían los sillares del mundo fenoménico. Mas, la dificultad surge a la hora de dar cuenta de su mutabilidad. Constantemente las cosas cambian, de ahí la búsqueda por encontrar algo permanente tras el devenir. “Cuando dios se puso a ordenar el universo, primero dio forma y número al fuego, agua, tierra y aire, de los que, si bien había algunas huellas, se encontraban en el estado en que probablemente se halle cuando dios está ausente. Sea siempre esto lo que afirmamos en toda ocasión: que dios los compuso tan bellos y excelsos como era posible de aquello que no era así. Ahora, en verdad, debo intentar demostraros el orden y origen de cada uno de los elementos con un discurso poco habitual, pero que seguiréis porque por educación podéis recorrer los caminos que hay que atravesar en la demostración”⁶⁹ Esta recorrida al que alude Timeo es la apelación a figuras geométricas como sillares básicos del mundo natural.

Teniendo presente lo expuesto en nuestra *Aproximación biográfica*, Heisenberg se

⁶⁷ A. E. Taylor, *A commentary on Plato's Timaeus*, Oxford University Press, 1962, p. 73.

⁶⁸ 35 a ; 31 b. En el diálogo se menciona primero la formación del cuerpo y luego la del alma. No obstante ello, la prioridad ontológica está en el alma. Para más detalles Cf. 34 b-c. Por otra parte está el complicado punto referente al origen del alma del mundo. Comúnmente se apela al caos, como la instancia antes de la intervención del demiurgo. Empero, Taylor, *op. cit.*, señala que la apelación a un caos pre-existente es tan solo un recurso metodológico. Así, él afirma que “Timeo, pues, no pudo haber supuesto de manera seria la enseñanza de la formación del mundo a partir de un caos pre-existente”. Para ello se basa en las declaraciones de Timeo en 33 a2, 32 c3, 41b y 36 e4. De aceptar la propuesta de Taylor llegamos a la inevitable interrogante de cómo el alma del mundo no tuvo un comienzo si es generada. A juicio nuestro, Taylor no logra zanjar este problema, dejando una ambigüedad en la distinción que Timeo realiza, entre el ordenamiento ontológico del cosmos y el temporal. Para más detalles sobre la afirmación de dicho autor, Cf. A. E. Taylor, *op. cit.*, p. 79.

⁶⁹ *El Timeo*, 53b-c

sintió muy identificado con una explicación geométrica del mundo natural. “La idea de que en las partes mínimas de la materia se tropieza al final con formas matemáticas me fascinaba”⁷⁰ En esta imagen propuesta por Platón, los cuatro elementos, a saber, tierra, fuego, aire y agua, son asociados a las siguientes figuras de la estereometría respectivamente: cubo, tetraedro, octaedro e icosaedro. Esta asociación salva algo fundamental en el mundo fenoménico, a saber, **el cambio**. Puesto que para Platón las figuras geométricas asociadas a los cuatro elementos se descomponen en triángulos, esto asegura un punto originario en común, a partir del cual se obtienen todas las figuras antes mencionadas. Al respecto afirma nuestro autor: “Platón construye los sólidos regulares a partir de dos triángulos básicos, el equilátero y el isósceles, los cuales se juntan para formar la superficie de los sólidos. Por consiguiente, los elementos (al menos de manera parcial) pueden ser transformados en cada uno de los otros”⁷¹ De acuerdo con esto último, el conocimiento de las estructuras últimas de la naturaleza esta asociada a un pensar formal no material. No obstante, según Heisenberg, fue este último el que prevaleció a lo largo de la tradición, al tener como modelo el atomismo de Leucipo y Demócrito. Sin embargo, a la luz de las paradojas cuánticas, nuestro autor ve en el pensamiento platónico un modo de superar el materialismo en el que se encontraba la física clásica y que impedía dar cuenta de manera satisfactoria del ámbito atómico.

Ahora bien, Heisenberg rescata la concepción platónica del pensar matemático⁷² como un modo de conocimiento que nos eleva por sobre el mundo ilusorio de los sentidos. Los átomos a la luz de la teoría cuántica son meros símbolos, los cuales incluyen al propio observador. Estos símbolos no son por ende objetivos, ni tampoco son cosas, realidades en el sentido fuerte del término, es decir, que impliquen *per se* un ámbito ontológico. Este aspecto formal de los elementos, es el que le permite elaborar a Heisenberg una concepción simbólica de la naturaleza. “Las partes más pequeñas de la materia no son el Ser fundamental, como en la filosofía de Demócrito, sino formas matemáticas. **Aquí se hace evidente que la forma es más importante que la substancia a partir de la cual esté hecha la forma**”⁷³

El otro aspecto sobre el que queremos detenernos dice relación con el tema central de nuestra temática: **la materia**. Siempre en relación con *El Timeo*, lo cierto es que este aspecto no está explícito en el pensamiento de Heisenberg. Pretendemos, al acercarnos a la noción de materia en dicho diálogo, encontrar posibles instancias que permitan sacar a luz esta temática en nuestro autor.

Con relación a lo ya expuesto sobre *El Timeo*, afirmábamos que dos son los principios que regulan la creación del cosmos: **inteligencia** y **necesidad**. Con relación a la inteligencia, destaca un aspecto dual en la obra del demiurgo, a saber, la relación entre

⁷⁰ W. Heisenberg, *Diálogos sobre la física atómica*, p. 14.

⁷¹ W. Heisenberg, *Physics and Philosophy...*, p. 65.

⁷² Recordemos que las hoy llamadas *ciencias exactas* para el tiempo de Platón se articulaban de la siguiente manera: aritmética, geometría, estereometría, astronomía, música y dialéctica.

⁷³ W. Heisenberg, *op. cit.*, p. 66. La negrita es nuestra.

lo creado (cosmos) y el modelo contemplado por el artífice. Mas, respecto de la necesidad es necesario incluir un tercer elemento. Al respecto señala en su discurso *Timeo* que: “La descripción anterior, salvo unos pocos detalles, constituye la demostración de lo que ha sido creado por la inteligencia. Debemos adjuntarle también lo que es producto de la necesidad [...] en aquel momento, no diferenciamos una tercera clase porque consideramos que estas dos iban a ser suficientes. Ahora, sin embargo, el discurso parece estar obligado a intentar aclarar con palabras una especie difícil y vaga”⁷⁴ Este tercer elemento no es otro que el receptáculo. Sobre él, la creación, metafóricamente hablando, es vertida. *Timeo* recurre a un par de imágenes con el fin de referirse a este tercer elemento. Este elemento sería como una madre (μήτηρ) o una nodriza (πιθήνη). Este receptáculo sobre el cual actúa el demiurgo, llenándolo con la creación, resulta ambiguo y ha sido ampliamente comentado a lo largo de la tradición. El propio Taylor reconoce la importancia de este pasaje cuando afirma que “La expresión de *Timeo* χώρα ha dado mucho que discutir, tanto en los tiempos antiguos como modernos. Numerosos intentos se han hecho para mostrar que por medio de χώρα *Timeo* realmente quiere decir lo mismo que la πρώτη ύλη peripatética, la mera ‘potencialidad’ de la existencia de diversos cuerpos actuales aprehendidos por los sentidos, o como la expresión de los estoicos άποιος ύλη, cuerpo sin cualidades. Yo no me sitúo para refutar estas interpretaciones, puesto que mantengo que la empresa la ha hecho de una vez para siempre de una manera admirable Baeumker (*Problem der Materie*)”⁷⁵

Un acercamiento exclusivo y detallado a la obra mencionada de Baeumker nos alejaría de nuestra investigación. No obstante, Bauemker es claro al señalar que el problema de la materia primaria en Platón se articula sobre dos lecturas. “La materia platónica es, o la substancia corporal cualitativa e indeterminada, o la posibilidad de la substancia corporal”⁷⁶ Sobre esta doble lectura se ha configurado el problema de la materia a lo largo de la tradición. De hecho, en la teoría cuántica la apelación por parte de Heisenberg a la potencialidad como forma de poder explicar el fenómeno atómico, pone en evidencia el peso de esta aseveración.

Con todo y retornando a la exposición del *Timeo* podemos señalar que, la materia fue por obra de la inteligencia superior del demiurgo ordenada, imponiendo a la vez con ello la necesidad, entrelazando así ambos principios. En otras palabras, la materia originariamente antes de la intervención del demiurgo, era caos, es decir, una especie de **protomateria**. De acuerdo con esto último, la materia es un receptáculo que recibe la limitación de la forma. Esta aclaración la expresa *Timeo* de la siguiente manera: “Ciertamente, ahora necesitamos diferenciar conceptualmente tres géneros: lo que deviene, aquello en lo que deviene y aquello a través de cuya imitación nace lo que deviene. Y también se puede asemejar el recipiente a la madre, aquello que se imita, al padre, y la naturaleza intermedia, al hijo...”⁷⁷ Así, el mundo es producto de la mezcla entre ser y devenir. Sin embargo, al interior de este cambio, es decir, del suceder

⁷⁴ *El Timeo*, 47e; 48e.

⁷⁵ A. E. Taylor, *op. cit.* p. 312 [nota a pie de página].

⁷⁶ Clemens Baeumker, *Das Problem der Materie in der griechischen Philosophie*, Minerva GMBH, Frankfurt am Main, 1963, p. 156.

fenoménico, se mantiene un orden. Si recordamos el otro extremo de la obra del demiurgo, a saber, la naturaleza humana, entonces comprendemos el puente entre el alma humana y el cosmos. Ambos poseen en su interior un nexo, la razón, la cual permite contemplar al hombre la realidad primigenia. Por ende “no será sorprendente ver, como un rasgo característico del *Timeo*, un constante interés en la búsqueda de los **eslabones** que correlacionan, primero, la totalidad del universo con su modelo original, y consecuentemente, la humanidad con el universo y con su modelo”⁷⁸

Pues bien, la noción de materia en Heisenberg mantiene una estrecha relación, si bien no explícita, con esta concepción platónica recién expuesta. El cosmos es imagen de un modelo perfecto. Mediante el conocimiento intelectual podemos acceder a estas formas inteligibles e inmutables. Este conocimiento, expresado en una superación del mundo sensible, se presenta a través de un itinerario intelectual, cuyo comienzo está en el conocimiento matemático. Heisenberg ve, al igual que Platón, el poder racional, dialécticamente entendido, del conocimiento matemático. Las formas geométricas a las cuales alude *Timeo* no son mera metáfora. Ellas constituyen la apelación de que el mundo natural es accesible al conocimiento humano. Estos dos puntos sobre los cuales hemos articulado el análisis del *Timeo*, nos han permitido acercarnos a la noción de materia en Heisenberg. El formalismo matemático de la teoría cuántica, fue siempre visto por nuestro autor desde una perspectiva platónica. Siguiendo esta línea, dicho formalismo apela a una realidad más allá del símbolo. En este punto nuestro autor nos muestra su clara afinidad con Platón y su alejamiento del positivismo lógico. Con ello Heisenberg entreluce que la misma teoría cuántica es una imagen y como tal es una teoría cerrada que puede ser relacionada con otras teorías. Así, la labor pictórica de la física debe estar siempre en relación con una reflexión filosófica que nos recuerde nuestra condición de prisioneros.

Kant

La filosofía de Kant, a diferencia de la de Platón, no tuvo una influencia tan profunda y directa en el pensamiento de Heisenberg. Podemos decir que fue tangencial. No obstante, la manera de poder entender la relación entre nuestro autor y Kant, estriba en tener presente los acontecimientos mismos de la teoría cuántica. Sabemos ya que para la teoría cuántica, la descripción del fenómeno atómico es probabilístico. Así, de acuerdo con esta descripción, surge un nuevo modo de **entender**. Esta nueva concepción obligó a replantear los fundamentos de la teoría clásica, o mejor dicho, a restringirlos. De este modo, Kant pasa a ser para Heisenberg uno de los fieles representantes de la filosofía de la física clásica. Por ende, la elaboración de una nueva teoría física como la cuántica, implicó para nuestro físico una reflexión crítica de algunos puntos de la filosofía kantiana.

Sin duda, un análisis de la reflexión llevada a cabo por Heisenberg para con Kant debe centrarse en las nociones de **sustancia** y **causalidad**. Estas nociones son en el

⁷⁷ *Ibidem*, 50d

⁷⁸ Oscar Velásquez, *op. cit.*, p. 5

lenguaje kantiano **categorías** o **conceptos puros del entendimiento** y su finalidad es permitir el conocimiento. Dado este carácter normativo, las categorías poseen la peculiaridad de ser *a priori*. Mas, para el conocimiento de un objeto no basta el poseer determinadas categorías de manera aislada, debemos aplicarlas. Como afirma Kant en la *Crítica de la razón pura*, parágrafo 22 de su *Deducción de los conceptos puros del entendimiento*: “El conocimiento incluye dos elementos: en primer lugar, el concepto mediante el cual es pensado un objeto en general (la categoría); en segundo lugar, la intuición por medio de la cual dicho objeto es dado. Si no pudiésemos asignar al concepto la intuición correspondiente, tendríamos un pensamiento, atendiendo a su forma, pero carente de todo objeto, sin que fuera posible conocer cosa alguna a través de él”⁷⁹ Queda claro entonces que la categoría debe ser aplicada a la sensibilidad en orden a obtener un conocimiento, mas para poder determinar la aplicación de la categoría hace falta un tercer elemento. “Queda clara la necesidad de un tercer término que sea homogéneo con la categoría, por una parte, y con el fenómeno, por otra, un término que haga posible aplicar la primera al segundo. Esta representación mediadora tiene que ser pura (libre de todo elemento empírico) y, a pesar de ello, debe ser *intelectual*, por un lado, y *sensible*, por otro. Tal representación es el *esquema trascendental*”⁸⁰ Así, el **esquema trascendental** es el puente, el nexo, que permite unir la categoría con el fenómeno. “Si prescindo, pues, de los esquemas, las categorías se reducen a simples funciones intelectuales relativas a conceptos, pero no representan ningún objeto. Tal significación les viene de la sensibilidad, la cual, al tiempo que restringe el entendimiento, lo realiza”⁸¹

Ahora bien, teniendo presente el esquema, es decir, el nexo que permite unir el ámbito de las categorías con el fenómeno, llegamos finalmente a los **principios del entendimiento puro**, los cuales son la norma que permite un uso objetivo de las categorías. Nos detendremos en los principios relativos a lo que Kant llama **analogías de la experiencia**. “En consecuencia, dichos principios no pueden tener otro objetivo que el de servir de condiciones de la unidad del conocimiento empírico en la síntesis de los fenómenos [...] Mediante estos principios podremos, pues, enlazar los fenómenos con la unidad lógica y universal de los conceptos, pero sólo según una analogía”⁸²

Esta sencilla aproximación nos permite entender la crítica de Heisenberg a Kant, entendiéndolo por tal crítica un acercamiento restringido y puntual a la filosofía de este último⁸³ Con todo, las categorías en general son condición de posibilidad de toda experiencia y por lo mismo no pueden ser refutadas por esta última, es decir, son *a priori*. Por otra parte, según lo expuesto, los principios son los que permiten una unidad de las percepciones, dando como resultado la experiencia. Es así como podemos percatarnos que mediante este marco normativo es posible, según la filosofía de Kant, la ciencia. En otras palabras, solo mediante una norma que permita objetivar la diversidad de las

⁷⁹ I. Kant, *Crítica de la razón pura*, Editorial Alfaguara, 14ª edición, Madrid, 1998.

⁸⁰ *Ibidem*, p. 183 [A 138].

⁸¹ *Ibidem*, p. 189 [B 187].

⁸² *Ibidem*, p. 214, 215 [B 224].

percepciones, expresada en la unidad de una conciencia, podemos hablar de leyes y por consiguiente de conocimiento científico. Tal es en síntesis el espíritu que ha movido a la física clásica.

Mas, la objetivación de dichas percepciones (kantianamente entendida) no es posible en relación con los átomos, tal como lo entiende la física cuántica. Tenemos por una parte que el conocimiento es probabilístico, y por otra parte no podemos determinar con mayor precisión el **conocimiento** de los átomos, según lo expresado por el principio de incertidumbre. Al respecto afirma Heisenberg: “Si queremos inducir leyes a partir de los fenómenos atómicos, resulta que no podemos ya vincular regularmente procesos objetivos en espacio y tiempo, sino –para usar una expresión más cuidadosa- situaciones de observación. Tan sólo para éstas obtenemos leyes empíricas”⁸⁴

Resulta de lo dicho hasta aquí una crisis con respecto a la física clásica en el modo de fundar un conocimiento científico del mundo. No obstante ello, subrayamos el hecho de que la epistemología kantiana tuvo que ser por ende no desechada sino **restringida**. Así, la crítica realizada por Heisenberg estriba en el carácter universal y necesario adscrito a los principios de causalidad y substancia, **en el sentido de ser válidos para toda experiencia**. “La presentación habitual de la teoría de los *quanta*, tal como la han propuesto Bohr y Heisenberg, elimina la causalidad en lo que se refiere a los resultados de la observación, en el sentido de que una ‘misma’ situación física puede ser sucedida en forma impredecible por un gran número (usualmente infinito) de estados diferentes [...] la interpretación usual de la teoría cuántica no elimina, en realidad, el determinismo en sentido general; no sólo esto, sino que además retiene cierta dosis de causalidad. Pero en cambio restringe drásticamente la forma newtoniana del determinismo según la cual todos los procesos físicos se reducen a cambios de lugar determinados por el estado de movimiento anterior y por fuerzas que obran desde afuera, y los recorridos de las masas puntuales afectadas son trayectorias definidas de modo preciso (plenamente determinadas) en el espacio-tiempo. También puede decirse que el determinismo newtoniano es a la vez superado y englobado por la mecánica cuántica en su interpretación ortodoxa, dado que se mantiene válido en promedio”⁸⁵

De este modo, la restricción de Heisenberg a las categorías de causalidad y substancia en la filosofía kantiana, se inscriben en un período de tránsito en la elaboración de su pensamiento. Teniendo presente el carácter probabilístico de la teoría

⁸³ Sin duda que el estudio de las categorías en Kant, junto con el esquema, es uno de los temas más complejos al interior de la filosofía kantiana. No obstante ello creemos que el análisis que presenta Patrick A. Heelan al respecto nos parece bastante superficial a la hora de entender a cabalidad la crítica que Heisenberg realiza a Kant. De aquí que resulte más acertado hablar del **principio de permanencia** (substancia) y del **principio de causalidad**, en vez de hablar lisa y llanamente de categoría, a la hora de enfrentar este punto. La distinción terminológica se hace indispensable en este punto. Para más detalles sobre el análisis de este autor cf. P. Heelan, *op. cit.*, p. 140-141.

⁸⁴ W. Heisenberg, *Diálogos sobre la física atómica*, p. 152.

⁸⁵ Mario Bunge, *Causalidad: El principio de causalidad en la ciencia moderna*, Editorial Universitaria de Bs. Aires, 3ª edición, 1972, p. 26, 27.

cuántica, junto con la influencia de Platón, Heisenberg intentará elaborar una concepción que permita salvar el carácter intencional de la teoría cuántica y junto con ello de la materia, lo cual lo acercará finalmente a Aristóteles. “Los símbolos matemáticos con que describimos tales observaciones representan más bien lo posible que lo fáctico. Quizá se podría decir que representan algo intermedio entre lo posible y lo fáctico [...] Este conocimiento determinado de lo posible permite algunos pronósticos exactos y precisos, pero generalmente tan sólo facilita conclusiones acerca de la probabilidad de un futuro evento”⁸⁶ Se trata de que lo observable, es decir, la experiencia que poseemos de un átomo, es un momento expresado mediante una probabilidad. Lo medular estriba en que la filosofía kantiana es la reflexión sobre una física que trata con objetos de la experiencia cotidiana, mientras que la teoría cuántica describe un ámbito distinto no cuantitativamente sino cualitativamente. La paradoja consiste en que el modo que poseemos para expresar nuestras experiencias científicas es siempre el lenguaje cotidiano en última instancia, pese a que dicho lenguaje no describa propiamente el ámbito atómico. Otro aspecto paradójico y que forma parte de la propia propuesta de Heisenberg estriba en el carácter universal y necesario al interior de un marco teórico. Esta concepción de teorías cerradas surge de su acercamiento a Kant, según lo hemos expuesto en el presente ítem. Por consiguiente, nuestro autor propone una visión en la que la física a medida que logra descubrir nuevos ámbitos fenoménicos, no contemplados inicialmente por una teoría, la restringe a la vez que abre paso a la necesidad de una nueva teoría que de cuenta de este nuevo ámbito. “Para Heisenberg, el proceso científico de ‘idealización’ representa la condición de posibilidad que hace posible el desarrollo del saber. Y no es contradictorio agregar que la creación de ‘modelos’ conceptuales axiomáticamente sistematizados, es tan necesaria como inevitable se muestra su límite de validez. El conocimiento más riguroso confina con un más allá transitoriamente insondable, ontológicamente enigmático que, si bien acotó la verificabilidad del modelo, abre la perspectiva de columbrar otros horizontes de realidad. Si no por las partes de que consta, por las relaciones entre las partes, algo comparable le ocurre al artista; así, el pintor procura desrealizar la imagen de lo real, a fin de trascenderlo hacia un más allá que anima su obra de expresividad ilimitada”⁸⁷ Por consiguiente, la filosofía de la física en Heisenberg comienza a tomar la forma de un método dialéctico.

Aristóteles

La relación entre Heisenberg y Aristóteles resulta ser muy particular y puntual. Particular por cuanto nuestro autor se acerca a la concepción hylemórfica de materia desde una perspectiva platónica. Puntual, por el hecho de que Heisenberg toma tan sólo dos nociones de la filosofía aristotélica, a saber, **acto** (εντελέχεια) y **potencia** (δύναμις). Por otra parte está el hecho de que el acercamiento al estagirita se inscribe en lo que podemos llamar su período de madurez. En esta última etapa de su evolución intelectual, Heisenberg, imbuido por el anhelo de universalidad y necesidad planteado por Kant,

⁸⁶ W. Heisenberg, *op. cit.*, p. 152, 153.

⁸⁷ F. Schwartzmann, *Historia del universo y conciencia*, Ediciones LOM, Santiago, 2000. p. 204, 205.

intenta una teoría que sea capaz, de expresar la unidad de la materia, pero siempre enmarcado dentro de su concepción de teoría cerrada. Él intenta formular una ecuación originaria que sea capaz de dar cuenta de la multiplicidad de las partículas elementales. “A partir de 1950 en adelante, Heisenberg puso su atención cada vez con mayor énfasis en el programa para la elaboración de una *teoría unificada de campos* de la materia. La universalidad de la energía, como constituyente y determinante de todas las transmutaciones, le permitió suponer que todas las partículas elementales eran estados estacionarios de *un sistema físico ‘material’...*”⁸⁸

Cabe agregar que, la interpretación probabilística de la teoría cuántica trajo consigo el alejamiento definitivo de la idea absoluta de la física newtoniana. Mas, Heisenberg, fiel a su gusto por la filosofía griega, intenta buscar un punto sobre el cual articular su búsqueda. Es en este diálogo fecundo que él recurre a la concepción hylemórfica de Aristóteles. Esto, debido a que la división de partículas no logra, a juicio de nuestro autor, dar cuenta de la unidad última de la materia. Teniendo presente la lectura del *Timeo*, él intenta elaborar una concepción de materia que le llevará a conciliar el aspecto probabilístico de los átomos y la estabilidad misma de estos. En otras palabras, Heisenberg intenta la audaz propuesta de hacer concordar el ámbito epistémico y el ontológico de la teoría cuántica.

Como primer acercamiento citamos el siguiente texto: “Todas las partículas elementales pueden ser transformadas, a niveles de energía muy altos, en otras partículas, o ellas pueden ser creadas a partir de energía cinética y pueden ser aniquiladas en energía, por ejemplo, en radiación. **Por consiguiente, tenemos aquí la prueba final de la unidad de la materia. Todas las partículas elementales están hechas de la misma substancia, que podemos llamar energía o materia universal.** Ellas son tan solo las distintas formas en las que la materia puede manifestarse. Si nosotros comparamos esta situación con los conceptos aristotélicos de materia y forma, podemos decir que la materia de Aristóteles, que es mera ‘potencia’, debería ser comparada con nuestro concepto de energía, el cual llega a la ‘actualidad’ por medio de la forma, cuando la partícula elemental es creada”⁸⁹ Es interesante ver como Heisenberg logra hacer coincidir en este punto a Platón y Aristóteles. Del modo más ecléctico toma el espíritu pitagórico de Platón y lo acuña con el aspecto dinámico y teleológico de la física aristotélica. La materia según esta propuesta es una fuerza originaria y constante desde la cual se producen los sillares básicos de la naturaleza, los cuales se manifiestan en nuestra representación del mundo mediante la formalización matemática. Este modo de acceder al fenómeno en el ámbito cuántico, enfatiza el carácter de interdependencia entre el sujeto y lo observado. Se trata por ende que la noción “realidad” es vista ahora bajo el prisma de la acción conjunta entre sujeto y objeto⁹⁰

⁸⁸ Patrick A. Heelan, *op. cit.*, p. 144.

⁸⁹ W. Heisenberg, *Physics and Philosophy*, p. 139. La negrita es nuestra.

⁹⁰ No debe caerse en el error de leer kantianamente esta aseveración. Si así fuera no podríamos decir con Heisenberg que la substancia última del universo es energía y que podemos postular su estabilidad por medio de las simetrías matemáticas. En otros términos, en esta propuesta no hay nómeno en sentido fuerte.

Teniendo presente estas palabras, lo cierto es que la concepción aristotélica de materia es bastante más compleja. Haremos un análisis sucinto de la materia en Aristóteles con el fin de contrastarla con la propuesta de nuestro autor a fin de sacar a luz más aspectos de la temática que nos ocupa.

En primer lugar debemos tener presente que toda la reflexión llevada a cabo por Aristóteles en torno a la materia se basa en una investigación metodológica. De ahí que su *Física*, principal obra dedicada al estudio de la naturaleza, dedique primeramente establecer los principios desde los cuales iniciar la investigación. Aristóteles, reviste de necesidad a estos principios y sobre ellos elabora su análisis. Por ende, Aristóteles es quien por primera vez logra un estudio más acabado, basado en principios, sobre la materia⁹¹ Las limitaciones y falencias no deben opacar su análisis de la noción de $\acute{\alpha}\lambda\eta$, puesto que estas investigación llevadas a cabo por el estagirita influyeron enormemente en las futuras especulaciones en torno al tema⁹² Así, Aristóteles supera el monismo eleático al fundar su concepción de materia en la tríada: **substancia-forma-privación**. El cambio está referido a un substrato sobre el cual acontece, que no es otra cosa que el paso de una forma a otra⁹³. “Aristóteles desarrolla las dificultades que yacen en el concepto de devenir, y que habían inducido a los antiguos a evitar su realidad. Un cambio, argumentaban, se encontraría o, a partir del Ser, o, a partir del No-Ser. No a partir del Ser, puesto que el Ser que es llegaría a No-Ser. No a partir del No-Ser, puesto que sería un cambio deseado a partir de algo no existente”⁹⁴ Vistas así las cosas, el estagirita intenta salvar el devenir de los fenómenos. Para ello no niega el mismo devenir, lo cual implicaría la imposibilidad de hacer ciencia y por otra parte no apela a una realidad eidética. Para Aristóteles el cambio del mundo natural está contenido en las cosas mismas. “Este plan hubiera sido imposible si, previamente, Aristóteles no hubiera fundamentado, a través de los principios correspondientes, la existencia real del movimiento. Esto resulta particularmente importante cuando se tiene en cuenta que para el Estagirita la naturaleza, objeto mismo de la *Física*, es principio de movimiento. La tesis eleática y su continuación en el pensamiento físico posterior impiden una ciencia de la naturaleza, una *Física*, en la medida en que comienzan por negar el movimiento en su realidad”⁹⁵ El propio Aristóteles afirma que: “En cuanto a nosotros, demos por supuesto que los entes naturales son, todos ellos o algunos, móviles. Esto es algo que resulta

⁹¹ Cf. Clemens Baeumker, *op. cit.*, p. 210, [Dritter Abschnitt].

⁹² Cf. Clemens Baeumker, *ibidem*.

⁹³ Dejamos en claro que dentro de las dificultades que implica dar una lectura unitaria respecto al tema de la materia y el movimiento en Aristóteles, destaca el hecho de que las nociones acto y potencia son propias de lo expuesto por el estagirita en la *Metafísica*, libro Z y Δ , específicamente, a la hora de superar el monismo eleático. El propio Aristóteles hace alusión en la *Física* I, 191b 25-30. Esta aclaración también es importante tenerla presente en relación con Heisenberg, puesto que su aproximación a la teoría hylemórfica y al problema de la materia en general fue bastante parcial como para notar esta distinción.

⁹⁴ Clemens Baeumker, *op. cit.*, p. 212.

⁹⁵ Héctor Jorge Padron, *Materia y materiales en Aristóteles*, Editorial Fundación Ross, 1987, p. 53

evidente por experiencia”⁹⁶

Además, es importante tener presente que para Aristóteles la materia reviste dos aspectos. Por un lado está el que la materia es pura pasividad. Es decir, ella es materia prima indeterminada (πρώτη ύλη). Por otra parte, la materia reviste un carácter activo, con lo cual el estagirita garantiza la mutabilidad constante del mundo fenoménico. La materia está en constante cambio. El movimiento por ende nos recuerda el aspecto teleológico, tan propio de la filosofía aristotélica. Así, “junto al esquema de substrato para la materia, efectivamente presente en Aristóteles habría, *además*, el esquema de *los materiales*, es decir el aspecto de la materia que corresponde al dinamismo y la asunción de la forma entendida como fin o función, sea en el ámbito de la naturaleza sea en el de la técnica”⁹⁷

Por consiguiente, la materia en el sistema aristotélico es la noción sobre la cual se efectúan los cambios. Mas, la materia no se equipara a la substancia. La materia propiamente es indeterminada. “Y entiendo por materia la que de suyo ni es algo ni es cantidad ni ninguna otra cosa de las que determinan al ente”⁹⁸ La materia es de acuerdo a lo dicho, posibilidad, pero posibilidad activa. En este sentido la concepción aristotélica de materia contiene dos aspectos, pasividad y finalidad. Es esta combinación la que permite dar cuenta del movimiento en el mundo natural. “Materia, forma y privación consiguen explicar la *posibilidad* del devenir tanto a nivel substancial como accidental. Si bien es cierto que dicha explicación parece presentar menos dificultades cuando se trata del devenir accidental. En efecto, allí el substrato es siempre alguna cosa designable. En cambio, cuando lo que se pretende explicar es el devenir, hay que hablar no de alguna cosa sino de la llamada *materia prima* libre de toda determinación”⁹⁹

De este modo, Heisenberg, más que acercarse a Aristóteles en el sentido de identificarse con su filosofía, tan solo se basa parcial y tangencialmente en la teoría hylemórfica con el fin de realizar una analogía, que le permita fundamentar sus especulaciones teóricas. Así, la materia es para él energía, substancia primordial de la naturaleza, mientras que la forma correspondería a las ecuaciones matemáticas. Por eso cuando él considera a los átomos como momentos, debe ser entendida dicha aseveración como actualización. Dicha actualización esta expresada en la formulación matemática que de un modo probabilístico permite dar cuenta del fenómeno, v. gr. la trayectoria de un electrón. En otras palabras, Heisenberg concibe la realidad, **siempre al interior de una perspectiva cuántica de la naturaleza**, como una fusión entre el sujeto y lo observado. La materia se actualiza por medio del acto epistémico de un observador. En otras palabras, la energía es un postulado epistémico, cuya referencia ontológica queda sustentada por la concepción platónica de Heisenberg. La estabilidad del sistema se expresa mediante la apelación a una unidad estable en la naturaleza: la energía. “La

⁹⁶ Aristóteles, *Física*, I, 185 a13

⁹⁷ *Ibidem*, p. 20.

⁹⁸ Aristóteles, *Metafísica*, Z, 4, 1029 a20.

⁹⁹ Héctor Jorge Padron, *op. cit.*, p. 53, 54.

materia universal de Heisenberg, que él identifica con energía, es [...] meramente una parte de un todo compuesto inteligible, puesto que la energía es un principio inteligible asociado con ciertas propiedades de invariabilidad de un sistema relativo a múltiples marcos de espacio-tiempo de referencia”¹⁰⁰

Con todo, el saber científico es imagen de esa realidad originaria. Esta concepción que hemos expuesto es la que conlleva a Heisenberg a concebir el orden último de la naturaleza como simetrías. La física teórica debe por ende abocarse no a la búsqueda de la partícula elemental, como fue el ideal de Leucipo y Demócrito y que marcó el rumbo de la física moderna, sino a la búsqueda de simetrías.

¹⁰⁰ Patrick A. Heelan, *op. cit.*, p. 147.

EL PRINCIPIO DE INCERTIDUMBRE Y EL PRINCIPIO DE COMPLEMENTARIEDAD

Teniendo presente las influencias filosóficas en nuestro autor, nos abocaremos a examinar dos principios fundamentales en la obra de Heisenberg y por extensión en la teoría cuántica en general, a saber, **el principio de incertidumbre** y **el principio de complementariedad**. El análisis a efectuar considera desde ya dichos principios **estructurales y fundamentales** en la comprensión del fenómeno atómico, puesto que delimitan y restringen el estudio del fenómeno atómico. Por ende, al poseer ambos principios características tan peculiares, la pregunta por la materia debe considerar un acercamiento cuidadoso a ellos. En otras palabras, la concepción de la materia por parte de Heisenberg está claramente sustentada por estos dos principios, es decir, el método propio para estudiar el comportamiento de las estructuras últimas de la materia, está condicionado con tal fuerza por dichos principios, que es inevitable una reflexión sobre la epistemología y ontología que ellos presuponen.

En el presente capítulo prepararemos el terreno, es decir, nos dedicaremos principalmente a las restricciones y consecuencias epistemológicas. Mientras que en el capítulo siguiente nos centraremos en los aspectos ontológicos de dichos principios. Solo así estaremos en condiciones de elucidar plenamente la noción de materia en Heisenberg. Dichas reflexiones son claramente de índole filosófica, puesto que se relacionan con los límites de validez de la teoría. Por ende ambos principios son auténticos axiomas al interior de la mecánica cuántica, pasando a ser los postulados

teóricos más importantes al interior de la interpretación de Copenhague.

El principio de incertidumbre

En una primera aproximación resulta interesante ver cómo la figura de Heisenberg está tan fuertemente asociada al principio de incertidumbre. Dicha asociación no es casual, puesto que sin lugar a dudas, la formulación de dicho principio por parte de nuestro autor fue uno de los más importantes y claros aportes a la física contemporánea. En Marzo de 1927, con tan sólo 26 años, el joven Werner elaboró un principio que sintetizaba y expresaba lo fundamental de su mecánica matricial. “Junto con el principio de complementariedad de Bohr, enunciado más tarde aquel año y la interpretación estadística de la función de onda de Schrödinger por parte de Born, el principio de incertidumbre de Heisenberg formó un componente fundamental de la así llamada interpretación de Copenhague de la mecánica cuántica. Una explicación de los usos y limitaciones del aparato matemático de la mecánica cuántica que fundamentalmente alteró nuestra comprensión de la naturaleza y nuestra relación con ella”¹⁰¹ De este modo, el principio de incertidumbre es uno de los eslabones fundamentales que permitieron la instauración de esta “nueva” teoría física. Así, dicho principio pasó a ser uno de los elementos que permitió la consolidación de la teoría, al permitir, con ayuda de Bohr, una sustentación no solo formal sino conceptual de la teoría cuántica¹⁰² Según el espíritu interpretativo de la escuela de Copenhague, la restricciones contenidas en el principio de incertidumbre permitieron fundar la teoría cuántica como una teoría cerrada. Por consiguiente, las relaciones de incertidumbre que se reúnen bajo el principio formulado por Heisenberg reflejan, según esta interpretación, la naturaleza misma del fenómeno atómico. Se trata de un fenómeno que no sigue ya lo prescrito por la mecánica clásica, es decir, un fenómeno que acontece determinísticamente, que sea susceptible de observar en un tiempo y espacio absoluto, sin restricción por parte del observador.

Para poder entender con mayor claridad este principio es menester tener presente que Heisenberg lo formuló a partir de **su concepción** de los fenómenos atómicos. Dicha concepción se basa en la formulación de su mecánica matricial, la cual considera la materia de manera corpuscular, vale decir, discreta. Ya hemos mencionado la polémica que hubo en la década del veinte, en derredor de la dualidad onda-corpúsculo entre Heisenberg y Schrödinger. Pese a que más tarde se logra establecer una equivalencia formal entre los postulados de Heisenberg y Schrödinger¹⁰³, nuestro autor siguió

¹⁰¹ David C. Cassidy, *op. cit.*, p. 226.

¹⁰² Este acuerdo conceptual resultó ser más de carácter ideal, pese a las equivalencias formales logradas entre la mecánica ondulatoria y la mecánica matricial. Así, al margen de la interpretación probabilística elaborada por Bohr, Heisenberg y la escuela de Copenhague en la década del treinta, la así llamada “nueva teoría cuántica”, las digresiones conceptuales estuvieron siempre presentes incluso entre el propio Bohr y Heisenberg.

¹⁰³ Esto fue demostrado por físicos como W. Pauli, Carl Eckart y el propio Schrödinger.

manteniéndose escéptico respecto a una interpretación ondulatoria de la materia como **discreta**. En otras palabras, para Heisenberg la equivalencia entre su mecánica de matrices y la mecánica ondulatoria de Schrödinger fue ante todo formal no conceptual. “Quisiera señalar que el establecimiento de esta identidad matemática de las formulaciones no puso fin a las desavenencias, en parte por que Schrödinger tuvo la esperanza de que su propio esquema tenía alcance para extenderse más allá del de Heisenberg, y de manera fundamental porque la desavenencia estaba por sobre aspectos de interpretación. Las diferencias en el formalismo matemático aún eran relevantes, pero únicamente porque ellos fortalecieron la adherencia a modos totalmente diferentes de pensamiento acerca de la física”¹⁰⁴

En palabras de Heisenberg, **observable** [anschaulich] es la expresión que mejor refleja el contenido de este principio y por extensión las consecuencias filosóficas que él encierra. Ante un objeto de estudio tan pequeño, como puede ser la trayectoria de un electrón, resulta inevitable tanto la carencia de una representación clara de ella, como de técnicas experimentales que alteren la trayectoria. Esto último es importante de tener presente, por cuanto a un nivel macroscópico, es decir, al nivel de nuestra vida diaria, la medición de un objeto no interactúa con lo medido, al menos a simple vista. Las mediciones realizadas a un nivel macroscópico resultan ser idealizaciones que precinden sin mayor dificultad de las posibles alteraciones que encierra la medición. Esto debido a que los fenómenos son concebidos de una manera determinista. Así, la paradoja a un nivel cuántico consiste en que la observación misma altera el objeto que se pretende observar, lo cual quiere decir que la observación misma entra en consideración.

Otro aspecto revelador del principio en cuestión, se relaciona con el hecho de que este principio agrupa y contiene una serie de incertidumbres bajo él. Esta serie de incertidumbres se refieren a aspectos distintos, pero cuyo denominador en común es la imposibilidad de poder objetivar al modo clásico la observación del fenómeno. Tomando “una” de estas relaciones, a saber, **momento** y **posición**, obtenemos la siguiente formulación canónica:

$$\Delta p \cdot \Delta q \geq h / 2\pi$$

En donde p corresponde al momento de la partícula¹⁰⁵ y q a su posición. Mientras que h corresponde a la constante de Planck. Si ambas variables son medidas al mismo instante obtenemos una incertidumbre expresada por Δ para cada caso. El producto de Δp y Δq nos da como resultado un valor infinitesimal, pero que corresponde a un valor límite¹⁰⁶ De aquí se desprende una interrelación en las variables que no es posible evitar.

¹⁰⁴ A. Whitaker, *Einstein, Bohr and the Quantum Dilemma*, p. 145.

¹⁰⁵ Específicamente el término momento debe entenderse aquí como **cantidad de movimiento** y es el producto de su masa por su velocidad. De aquí que el momento sea una **cantidad vectorial**, es decir, posee una magnitud y una dirección.

¹⁰⁶ Para el examen y detalle matemático por parte de Heisenberg del proceso de formulación de dicho principio cf. W. Heisenberg, *The physical principles of the quantum theory*, Chicago University Press, reprinted 1940, Chicago. Dicha obra contiene un apéndice titulado *The mathematical apparatus of the quantum theory*, el cual puede resultar útil para quien se interese en detalles más específicos y técnicos de la cuestión.

La precisión de una altera la precisión de la otra. “Heisenberg mostró por lo tanto que estas relaciones de incertidumbre no eran meras abstracciones matemáticas; de hecho ellas eran consistente con los experimentos actuales. Este principio y estas relaciones estaban firmemente enraizadas tanto en las ecuaciones como en los experimentos de la física cuántica”¹⁰⁷ Por ende, coordenadas tales como posición-momento dependen de la observación misma, la cual a su vez influye en la trayectoria de la partícula. Desde una perspectiva epistemológica, el observador se hace partícipe de lo observado. A un nivel macroscópico el acto de medición no “influye”, puesto que la precisión no es de índole infinitesimal. Mas, a un nivel atómico, la observación sí influye. Esta extraña restricción no es de carácter experimental, en el sentido de que podría esperarse a futuro una mejora en los procesos de medición sino que es constitutiva. ¿Por qué? La razón de ello se basa en la ya aludida constante h de Planck. Según esta constante, **la energía que emite o absorbe cualquier tipo de partícula atómica, solo es posible de manera discontinua, es decir, mediante “paquetes de energía”, quanta.** Cuando queremos observar una partícula, es decir, medirla, entonces aplicamos de manera intuitiva la imagen conceptual proporcionada por la física clásica. Al instante de medir conocemos efectivamente la posición y trayectoria del objeto en cuestión, pues la medición misma no altera el objeto. Por el contrario, en el caso de una partícula, v. gr. un electrón, las variables de posición y trayectoria son alteradas al momento de la medición, por cuanto dicha medición solo es posible mediante el intercambio de energía, es decir, entre un fotón y el electrón en cuestión, de lo contrario no es posible “observar” un fenómeno atómico. De aquí el carácter probabilístico que de estas relaciones se desprende. Una interesante aclaración respecto a lo expuesto la encontramos en las siguientes palabras del físico francés de Broglie: “Para hacer comprender por qué la experiencia no puede suministrar más precisión de lo que suponen las relaciones de incertidumbre, supongamos que se busca localizar con precisión un corpúsculo. La manera más fina de que disponemos para explorar el espacio en pequeña escala, es el empleo de las radiaciones de corta longitud de onda. Este método, mucho más preciso que todos los métodos mecánicos, nos permitirá distinguir dos puntos del espacio cuya distancia es por lo menos del orden de la longitud de onda. Para determinar la posición exacta del corpúsculo, debemos emplear una radiación cuya longitud de onda deberá ser tanto más corta cuanto más precisión se desee. Pero aquí interviene la existencia de un cuanto de acción bajo la forma de los cuantos de radiación. Cuanto más disminuimos la longitud de onda de la radiación exploradora, más aumentaremos su frecuencia y por tanto la energía de sus fotones, y en consecuencia la cantidad de movimiento que estos fotones pueden ceder al corpúsculo estudiado. El dispositivo de medida destinado a la determinación exacta de la posición no nos enseñará nada sobre el intercambio de cantidad de movimiento experimentado por el corpúsculo durante la medida, de manera que el estado de movimiento final del corpúsculo, una vez efectuada la medida, será tanto más incierto cuanto mayor haya sido precisada la posición”¹⁰⁸

Por consiguiente, el proceso mismo de medición forma un todo con la partícula

¹⁰⁷ D. Cassidy, *op. cit.*, p. 234.

¹⁰⁸ L. de Broglie, *La física nueva y los cuantos*, p. 194, 195.

medida, lo cual quiere significar que una partícula, previa a la medición, es pura potencialidad. De aquí que al medir solo actualizamos una de las muchas posibilidades contenidas en una partícula como un electrón. Pareciera que a un nivel atómico nuestra naturaleza humana se ve enfrentada con un límite, el cual solo cabe aceptar, es decir, el reto para las teorías cuánticas consiste en incluir al observador a la hora de experimentar e interpretar dichas teorías de modo estadístico.

Por ende, la teoría cuántica revela un ámbito que escapa a la formulación de categorías propias del mundo macroscópico, pero por otra parte nosotros mismos no podemos evitar hacer uso de estas categorías, es decir, de intentar aplicarlas a este extraño ámbito. “Nuevamente el físico tenía que encontrar una prescripción –una interpretación de las matemáticas- que le permitiese relacionar los conceptos y comportamientos del mundo atómico con las observaciones de laboratorio de los fenómenos atómicos; y hacerlo de una manera consistente con las matemáticas de la teoría. En otras palabras, como Bohr lo hizo más claro en su obra, los procedimientos mismos de observación de laboratorio y medición, previamente de menor interés al físico clásico, llegó a ser una preocupación central del físico cuántico y un punto fundamental para los creadores de la interpretación de Copenhague”¹⁰⁹

En la formulación del principio de incertidumbre podemos ver dos raíces filosóficas presentes en el pensamiento de Heisenberg. Por una parte tenemos la alusión constante a lo “anschaulich” como referente a la hora de fundamentar una teoría y por otra parte su afinidad por construcciones teóricas de alto calibre matemático. Estas dos vertientes se pueden expresar en:

- a) empirismo
- b) racionalismo

Ambas concepciones, desde una perspectiva filosófica, suelen contraponerse y han sido presentadas como antagónicas a lo largo de la tradición. En el caso de nuestro autor no resulta ser una excepción. El punto estriba en que al momento de la formulación del principio de incertidumbre (1927), Heisenberg comienza a **replantear** su filosofía de la física, intentando cada vez, no sin dificultad, alejarse de sus raíces empiristas, debido principalmente a la influencia de su maestro Niels Bohr y de los trabajos de Mach. Se trata por ende de una contraposición antitética que gradualmente permitirá una suerte de síntesis en los años venideros de nuestro autor. Este resquicio de corte empirista en sus años de juventud resulta importante para entender a cabalidad el principio de incertidumbre y las consecuencias en las teorías de la medición. Por otra parte, al margen de su evolución, la validez de dicho principio se mantuvo, con lo cual su deuda empirista estuvo siempre en mayor o menor grado presente. En 1931 escribe: “La física moderna no está preocupada con la esencia y estructura del átomo sino con los eventos observables. De este modo, [la física] pone énfasis sobre los procesos de medición”¹¹⁰

¹⁰⁹ *Ibidem*, p. 227.

¹¹⁰ W. Heisenberg, *Kausalgesetz und Quantum Mechanik*, citado por Patrick A. Heelan, *op. cit.*, nota a pie de página n° 1, p. 138.

El principio de complementariedad

Ante la dualidad onda-corpúsculo, tanto de la luz como de la materia en general, la física atómica tuvo que hacer frente a un problema teórico de bastante complejidad. Esta complejidad radica en que, al interior de esta problemática, se presentaron dos propuestas teóricas opuestas, ambas avaladas por datos experimentales. Empero, no era posible que dos ámbitos teóricos, coherentemente formulados, pero contrarios entre sí, fueran la base al momento de dar cuenta de los fenómenos atómicos. Así, por una parte se encontraba la concepción ondulatoria, sustentada principalmente por Schrödinger y de Broglie, y por otra parte estaban los defensores de una interpretación corpuscular de la naturaleza, cuyos principales defensores eran Pauli, Jordan y el propio Heisenberg. Dicha superación se debió principalmente, según lo expone la habitual lectura realizada por los historiadores de la ciencia, gracias a los esfuerzos conciliatorios por parte del físico danés Niels Bohr. “La historia del desarrollo de la mecánica cuántica se construye de modo dramático alrededor del dilema onda-partícula. Seguimos el acumulación de contradicciones, uno tras otro, entre los aspectos corpuscular y ondulatorio de la materia y la radiación, hasta la resolución de la última e inquebrantable tensión conceptual por parte del ‘principio onda-corpúsculo de complementariedad’ por parte de Bohr”¹¹¹

Como primera aproximación a la idea de complementariedad nos preguntamos lo siguiente: ¿Cuál es la propuesta contenida en el principio formulado por Bohr? Lamentablemente no hay una respuesta única y clara a dicha interrogante. Ello radica en que el principio de complementariedad resulta ser tanto un postulado teórico como un postulado retórico. Así, por una parte, Bohr quería encontrar una respuesta satisfactoria desde el punto de vista físico a la dualidad onda-corpúsculo, empero por otra parte estaba el anhelo por consolidar sus propias concepciones ante la comunidad científica. Teniendo esto último presente, es posible encontrar en la conferencia dictada por Bohr en *Como* (Italia) ideas tan diversas como la de los estados estacionarios, la teoría ondulatoria y las restricciones planteadas por el principio de incertidumbre. “Sin identificar a los interlocutores de cada sentencia de la conferencia de Como, es imposible entender el significado de cada sentencia y las conexiones entre ellas. Cuando nos percatamos que el texto está lleno de argumentos implícitos de físicos de la época –Einstein, Heisenberg, Schrödinger, Compton, Born, Dirac, Pauli y el menos conocido Campbell- la niebla se disipa y la presentación de Bohr se torna más clara”¹¹²

Con todo, el principio de complementariedad reviste consecuencias filosóficas de no fácil comprensión, con lo cual aún hoy dicho principio resulta ser objeto de estudio y análisis. Como lo corrobora Beller en las siguientes palabras: “A pesar de las reacciones que provocó, continua siendo un enigma qué significa exactamente la complementariedad de Bohr [...] Estudios recientes del pensamiento de Bohr continúan

¹¹¹ M. Beller, *Quantum dialogue: The making of a revolution*, Chicago University Press, Chicago, 1999, p. 223.

¹¹² *Ibidem*, p. 120.

haciendo frente a la ‘formidable dificultad’, incluso incomprendibilidad, de los escritos suyos que se relacionan con la complementariedad”¹¹³ Incluso, el mismo Bohr, al ser interrogado por Weiszäcker sobre si el principio de complementariedad expresaba realmente lo que tenía en mente, expresó su disconformidad¹¹⁴

Otro aspecto que ha sido objeto de diversos análisis, dice relación con el origen de dicho principio. En dicha búsqueda por encontrar los orígenes se revela lo fecundo que hay en la idea de complementariedad, mostrando que las raíces de la complementariedad se encuentran en disciplinas distintas de la física, a saber, en las reflexiones filosóficas de Kierkegaard y en parte en los trabajos de William James¹¹⁵ Dichas raíces muestran el contenido filosófico que la complementariedad encierra en Bohr.

Con todo, este principio constituye un intento de poder establecer una especie de conciliación teórica del fenómeno cuántico. De este modo encontramos que, por una parte está la pugna entre la continuidad o la discontinuidad de la materia, por otra parte se encuentran los intentos de Bohr de mantener sus propias ideas en vigencia y por último se encuentra el no despreciable problema de la validez de los conceptos clásicos

116

¹¹³ *Ibidem*, p. 119.

¹¹⁴ Cf. M. Beller, *op. cit.*, p. 119.

¹¹⁵ Para un seguimiento histórico y exhaustivo de la evolución de la idea de complementariedad en Bohr, cf. G. Holton, *Ensayos sobre el pensamiento científico en la época de Einstein*, Alianza Universidad, 1982, Madrid. Respecto de la temática nuestra en particular, podemos afirmar, como un dato anexo, que el principio de complementariedad tuvo su primera formulación en el principio de correspondencia, basado en los trabajos de Bohr en la primera década del siglo XX. Debido a las dificultades teóricas que surgieron en la década del veinte, Bohr fue replanteando el principio hasta llegar a la idea de complementariedad, uno de los pilares filosóficos de la escuela de Copenhague. En relación a las influencias de Kierkegaard, podemos afirmar que la idea central se basa en la noción de elección. Desde una perspectiva netamente existencial, el filósofo danés sostiene que a lo largo de nuestra vida es inevitable tener que enfrentarnos a situaciones de elección. Frente a la elección debemos “optar”, lo cual compromete un salto. Este salto no culmina en una síntesis de tipo hegeliana, sino que es el paso a un estado completamente distinto. Ahora bien, respecto a los trabajos de James, la idea se refiere al flujo del pensamiento, es decir, al “analizar” un pensamiento o proceso mental alteramos completamente su proceso mismo. Como se puede ver, la raíz filosófica de la complementariedad es sumamente compleja y profunda. De hecho el propio Bohr estuvo consciente de ello, de ahí su interés por querer aplicarlo a campos ajenos a la física, tales como la biología.

¹¹⁶ Esta tríada enfatiza el carácter complejo del principio de complementariedad. Desde este punto de vista el análisis propuesto por Beller nos parece bastante acertado. En otras palabras, la complejidad del principio propuesto por Bohr no se ciñe puramente a un ámbito de formulación teórica, restringido a problemas de interpretación experimental. Como afirma Beller: “La génesis del principio de complementariedad de Bohr no resulta plenamente comprensible sin tener en cuenta factores psicológicos tales como, ambición, interés profesional y dinámica de grupo. Resulta destacable, si bien no sorprendente, qué tanto coincidían posiciones cognitivas de diferentes colaboradores con sus intereses profesionales y personales [...] La intensidad emocional en un diálogo científico no es una aberración, es la fuente vital para la elaboración de ideas, la formación de posiciones, el logro de avances”, M. Beller, *op. cit.*, p. 144.

Ahora bien, intentando adoptar una lectura “didáctica” de la cuestión, podemos aseverar que, el hallazgo de Bohr consistió en postular que, tanto la mecánica ondulatoria como la mecánica matricial, pese a que se oponían conceptualmente entre sí, describían el mismo fenómeno, pero desde distintos puntos de vistas, como dos imágenes superpuestas, pero que no son accesibles al mismo tiempo, es decir, como las dos caras de una moneda. Así, el principio de complementariedad reúne, por una parte, nuestra limitación a la hora de observar el fenómeno atómico, y por otra parte introduce el aspecto unitario de la observación. Teniendo presente el uso de los conceptos clásicos, tales como espacio, tiempo y posición, Bohr propone una visión del fenómeno atómico en la cual el dispositivo de medición y el objeto medido, v. gr. electrón, forman un todo unitario. La razón de este apego a los conceptos clásicos la encontramos en una respuesta dada por Bohr a Schrödinger: “...mi énfasis acerca de lo inevitable de la descripción clásica del experimento se refiere en último término a nada más que al aparente hecho obvio de que la descripción de todo aparato de medición tiene que contener básicamente la ordenación del aparato en el espacio y su función en el tiempo, si es que estamos capacitados a decir cualquier cosa acerca de los fenómenos...”¹¹⁷

En términos más precisos, la medición de un electrón por ejemplo, no puede **a la vez** ser objetivada en relación a las coordenadas espacio-tiempo y la ley de causalidad. Esto debido a que, por una parte el sistema inevitablemente resultará alterado al ser observado, y por otra parte, al ser observado causalmente introducimos la incertidumbre de nuestro propio acto de observación. En otras palabras, se introduce la discontinuidad, la cual resulta, a juicio de Bohr, poco manejable en nuestro lenguaje cotidiano. “Para Bohr, todos los problemas del mundo cuántico comienzan con la discontinuidad”¹¹⁸ De aquí que para Bohr resulte preferible recurrir a una concepción ondulatoria de la materia que a una corpuscular. Mas, si bien dicha preferencia resulta ser metodológica, Bohr quiso ante todo un alejamiento de toda representación corpuscular de la materia. “El argumento implícito de Bohr respecto de la superioridad de los conceptos ondulatorios por sobre los conceptos de partícula, no significa que la onda representara para él una imagen literal de la realidad”¹¹⁹ Como afirma el propio Bohr: “Este postulado [cuántico] implica la renuncia a la coordinación causal de procesos atómicos en el espacio y en el tiempo. En efecto, nuestra descripción usual de los fenómenos físicos se basa por entero en la idea de que los fenómenos pueden ser observados sin perturbarlos de forma apreciable [...] Ahora bien, el postulado cuántico implica que toda observación de los fenómenos atómicos lleva aparejada una interacción con el aparato de observación que no puede ser despreciada. Por consiguiente, no puede adscribirse una realidad independiente en el sentido físico ordinario ni a los instrumentos de observación”¹²⁰ De este modo y en relación con lo ya dicho, dada la inevitable perturbación que ejercemos

¹¹⁷ N. Bohr, citado por A. Whitaker, *op. cit.*, p. 175.

¹¹⁸ A. Whitaker, *op. cit.*, p. 169.

¹¹⁹ M. Beller, *op. cit.*, p. 120.

¹²⁰ N. Bohr, *La teoría atómica y la descripción de la naturaleza*, cap. II, Alianza Universidad, 1988, Madrid, p. 99.

cuando deseamos medir la posición y trayectoria de una partícula, y nuestra dependencia de un lenguaje cotidiano, es que cobra sentido el recurrir a la complementariedad. En la misma conferencia de Como, Bohr afirma que “Es preciso, pues, considerar una modificación radical de la relación entre la descripción en el espacio y en el tiempo y el principio de causalidad, que simbolizan respectivamente las posibilidades ideales de observación y de definición, y cuya unión es característica de las teorías clásicas: a partir de la esencia misma de la teoría cuántica debemos contentarnos con concebirlas como aspectos complementarios, pero que se excluyen mutuamente, de nuestra representación de los resultados experimentales [...] En realidad, para tener en cuenta el postulado cuántico en la descripción de los fenómenos atómicos, debemos desarrollar una «teoría de la complementariedad», cuya consistencia sólo puede ser juzgada confrontando **las posibilidades de definición y las posibilidades de observación**”¹²¹ Así, el principio de complementariedad es un intento por conciliar el plano teórico con el plano empírico, es decir, el plano subjetivo y el objetivo. “Las descripciones contradictorias, aparentemente paradójicas, no deben desviar nuestra atención de la globalidad esencial [...] **Al contrario que la situación en períodos anteriores, la claridad no reside en la simplificación y la reducción a un modelo único directamente comprensible, sino en la superposición exhaustiva de diferentes descripciones que incorporan nociones aparentemente contradictorias**”¹²²

Con todo, resulta perfectamente plausible, a la luz de lo dicho, considerar el postulado de Bohr como un principio meramente **ad hoc**. Nos detendremos un momento sobre este punto por la importancia que reviste en nuestra investigación. Considerar el principio de complementariedad como *ad hoc*, implica que este principio fue formulado con el fin de tan sólo **salvar las apariencias** impuestas por la aparente dualidad discreta/continua en la materia que presentaban las distintas teorías. Esto nos pone en una lectura instrumental del fenómeno cuántico y nos recuerda la conocida expresión de Newton, **hypotheses non fingo**. La aparente dualidad de la materia sin duda revive la discusión fundamental en filosofía de las ciencias sobre el valor de las teorías físicas. Dicha lectura puede formularse en la siguiente pregunta, ¿reviste el principio de complementariedad un mero carácter formal? Con ello preguntamos si dicho principio se basa en la mera arbitrariedad por parte del científico. Según una lectura de este tipo, la propuesta de Bohr resulta ser casi como una especie de hipótesis auxiliar, cuya finalidad es evitar el fracaso de no poder compatibilizar el fenómeno ondulatorio y el discreto de las partículas elementales. Una lectura de este tipo la encontramos por ejemplo en Popper: “La complementariedad de Bohr no puede ser criticada de ese modo [en términos racionales], me temo: sólo puede ser aceptada o *denunciada* –quizás por ser *ad hoc* o por ser irracional o por ser irremediamente vaga”¹²³ En esta misma línea encontramos

¹²¹ *Ibidem*, p. 100. La negrita es nuestra.

¹²² G. Holton, *Ensayos sobre el pensamiento científico en la época de Einstein*, Alianza Universidad, 1982, Madrid, p. 122. La negrita es nuestra.

¹²³ K. Popper, *Teoría cuántica y el cisma en física: Post scriptum a la Lógica de investigación científica*, v. III, editorial Tecnos, 2ª edición, 1992, Madrid, p. 123.

aparejada la postura de Einstein, quien vio en el principio de complementariedad un intento momentáneo por establecer un orden al fenómeno atómico. La incertidumbre y la dualidad contenida en la propuesta de Bohr no hacen más que reflejar a claras luces la tensión interna que revela dicha propuesta.

Por consiguiente, en relación a lo ya expuesto sobre la idea de complementariedad, nos inclinamos por considerar dicho principio como un postulado filosófico, el cual, al estar basado en la reflexión intuitiva esta expuesto a la continua reinterpretación. Así, el contenido expresado en la idea de complementariedad no es otra cosa que el intento de realizar un reflexión filosófica sobre la labor misma del postulado cuántico. En otras palabras, es el anhelo por lograr una unidad conceptual. Valga como respaldo de lo dicho el testimonio del propio Heisenberg, unos de sus colaboradores más cercanos: “el conocimiento de la naturaleza era primariamente obtenido en este sentido [intuitivamente], y solo como paso siguiente puede uno tener éxito en fijar el conocimiento de una manera matemática y someterlo a un completo análisis racional. Bohr fue ante todo un filósofo, no un físico; pero él entendió que la filosofía natural en nuestros días toma peso solo si cada detalle puede ser sometido al inexorable test del experimento”¹²⁴ El propio Bohr consideró su postulado como un proyecto sobre el cual enfocar y proyectar las futuras investigaciones de la física atómica en general. En otras palabras, dicho principio pasa a un marco conceptual sobre el cual es posible desarrollar nuevas formulaciones teóricas. Así como la astronomía ptolomaica presupone un tipo de movimiento perfecto, a saber, el circular, la teoría cuántica, según el ideal de Bohr, supone la complementariedad. En ambos casos los supuestos adquieren el carácter de principio.

Materia: incertidumbre y complementariedad

A la luz de lo expuesto, hemos visto que el método experimental, la medición misma, forma parte constitutiva de la teoría cuántica. La pregunta por la materia queda inserta en una imagen probabilística y altamente no-intuitiva. El acto de observación entra en la formulación de la teoría y ello obliga un modo de concebir la naturaleza distinto del cotidiano. Empero dicho “nuevo” ámbito tiene que ser “traducido” a nuestro lenguaje habitual, pues de lo contrario se pierde la referencia y nos quedamos con una abstracción formalmente válida, es decir, a un nivel meramente lógico, de relaciones entre postulados teóricos sin un referente a la “realidad”. En otras palabras el carácter público y objetivo es puesto en cuestión. Una interesante reflexión al respecto la encontramos en las siguientes palabras de Max Born: “De lo que se trata en los textos de Niels Bohr, Heisenberg, Weizsäcker, Eddington es un problema que se deduce de la naturaleza de nuestro espíritu. Este no se conforma con fórmulas matemáticas que permiten describir

¹²⁴ W. Heisenberg, *Quantum Theory and its Interpretation*, en *Niels Bohr: His life and work as seen by his friends and colleagues*, edited by S. Rozental, North-Holland Publishing Company, 2nd printing, 1968, Amsterdam, p. 95. El volumen, escrito por diversos autores que conocieron a Bohr en persona, resulta interesante no solo desde un punto de vista biográfico, sino por permitir además una aproximación al método de trabajo que poseía el físico danés, el cual era, como ya apuntábamos ante todo intuitivo y filosófico.

objetivamente los fenómenos observables. Pues la observación tiene lugar con ayuda de aparatos. Pero éstos están hechos de cristal, madera, metal, material plástico y pertenecen, por muy refinados que sean, al ámbito de la vida diaria. Solamente pueden ser descritos con palabras de la vida diaria. Pero también acerca de los documentos proporcionados por los aparatos, placas fotográficas, curvas automáticamente marcadas o series de números se puede uno entender con el lenguaje corriente. Las huellas de las gotitas en una cámara oscura sugieren una partícula volante; un reparto periódico del ennegrecimiento sobre una placa sugiere procesos de ondas e interferencias. Prescindir de tales explicaciones haría imposible todo entendimiento y paralizaría la intuición, sobre la que aún descansa la investigación”¹²⁵ De este modo la materia no puede ser entendida por nosotros, sujetos cognoscentes, como una entidad independiente del observador. El carácter ontológico que se desee adscribir a la materia (su en-sí) queda condicionado por el acto epistémico de la medición. Pese a esta fuerte condicionante, Heisenberg siempre en la línea de un idealismo platónico, intenta mostrar que las formulaciones teóricas no hacen más que **representar** dicha realidad. “El mundo es la **imagen** de una idea, a saber, una simetría matemática”¹²⁶

Esta influencia platónica en Heisenberg fue matizada en parte por Kant¹²⁷ La crítica por parte de nuestro autor a la ley de causalidad fue tan solo parcial como ya hemos apuntado. Con ello, él criticó tan solo la validez **universal y absoluta** de la causalidad y en definitiva de los juicios a priori, en el sentido, de que fueran válidos para toda experiencia posible. Por ende, nuestro autor no desecha el poder universal y objetivo de toda teoría física, sino que restringe el ámbito de la experiencia sobre el cual es aplicada. Por consiguiente, “...la aproximación de Heisenberg a la física fue desde el punto de partida de la teoría, es decir, a partir de la búsqueda sin inhibición, de teorías matemáticas *a priori* a experiencias empíricas externas. Esto representó la parte de la ciencia pura de la naturaleza de Kant, no en el sentido que ellas permanecían bajo las condiciones absolutas y necesarias de posibilidad que cada hecho científico obedece, sino que hasta en el sentido que ellos servían para definir las condiciones de posibilidad para objetos científicos *posibles*. Una teoría que es *inhaltsleer* [sin contenido] es distinguida de otra que tiene consecuencias observables, habiendo recurrido a las pruebas empíricas. Él sostuvo que ni las formas del pensamiento, ni la experiencia misma imponían en nosotros una ciencia de la naturaleza única o *a priori*. El valor representativo y los límites de aplicabilidad de cada teoría iban a ser determinados *a posteriori* por la investigación empírica”¹²⁸ Así, Heisenberg, hábilmente elaboró su concepción de teoría cerrada, es decir, una teoría cuya validez de sus postulados se delimita y restringe a una región fenoménica. Al interior de ella su validez permanece intacta, v. gr. la mecánica de Newton o la teoría electromagnética de Maxwell, entre otras. De este modo, la

¹²⁵ M. Born, *Objetividad y Subjetividad*, en Eckart Heimendahl, *op. cit.*, p. 193, 194.

¹²⁶ W. Heisenberg, citado por Patrick A. Heelan, p. 146. La negrita es nuestra.

¹²⁷ Cf. Capítulo 2

¹²⁸ Patrick A. Heelan, *op. cit.*, p. 53, 54.

concepción de materia al interior de la teoría cuántica, desde una consideración epistemológica, resulta ser el ordenamiento teórico de una serie de datos experimentales. En otras palabras, la unidad originaria que busca Heisenberg, inspirado por la filosofía griega, queda expresada inevitablemente en una formulación matemática de tipo probabilística. Es la elaboración de una ecuación fundamental, cuyo deseo final -anhelo ontológico- es que corresponda a la realidad, de que la unidad de la teoría exprese la unidad del fenómeno observado. Dicha correspondencia pone una vez más en la historia de la ciencia la noción de verdad, tan cara a la tradición filosófica, a saber, **adæquatio intellectus et rei**. Ahora bien, una adecuación de tipo probabilística es una concepción propia de la ciencia contemporánea. En dicha concepción nos situamos ante la imagen propia que nos presenta la teoría cuántica respecto a la materia. Una imagen que incluye el acto epistémico, es decir, nos involucra a nosotros mismos como parte de la noción de naturaleza.

Las reflexiones que hemos realizado aquí sobre la materia se mueven en un plano epistémico y metodológico. Dada la importancia que la teoría cuántica reviste sobre el acto de medición y por consiguiente sobre el observador, resulta interesante a juicio nuestro cómo ya en el siglo XIX, el físico e historiador francés Pierre Duhem, expresaba esta idea respecto al método y limitación de la teoría física. “Una teoría física no es una explicación. Es un sistema de proposiciones matemáticas, deducidas a partir de un pequeño número de principios, cuyo objetivo es representar de la manera más simple, completa y exacta posible un conjunto de leyes experimentales”¹²⁹ Según el ideal de Duhem, la labor del físico es elaborar una construcción de proposiciones lógicamente entrelazadas cuyo referente último sean los datos experimentales. De acuerdo con esto, la teoría física tiene por objeto **salvar las apariencias**, es decir, su rol es descriptivo no explicativo. Empero, el propio Duhem afirma que “la teoría física nunca nos entrega una explicación de las leyes experimentales. Ella nunca revela realidades que se esconden bajo las apariencias sensibles, pero mientras más completa llegue a ser [la teoría] más comprendemos que el orden lógico por el cual la teoría ordena las leyes experimentales, es el reflejo de un orden ontológico, más sospechamos que las relaciones que ella establece entre los datos de la observación corresponden a verdaderas relaciones entre las cosas...”¹³⁰ Esta afinidad entre Duhem y Heisenberg queda muy bien expresada en relación al término **corresponder** y **representación** respectivamente. El anhelo por lograr que la teoría exprese el orden del mundo es el desafío constante de toda la ciencia. En el caso de Heisenberg, dicho anhelo se expresa en el deseo por lograr una ecuación que diera cuenta de la multiplicidad de las partículas elementales, ecuación que representara esa substancia originaria, a saber, la materia.

¹²⁹ P. Duhem, *The aim and structure of physical theory*, Princeton University Press, Translated by Philip P. Wiener, New Jersey, 1954, p. 19.

¹³⁰ *Ibidem*, p. 26, 27.

LA FILOSOFÍA DE LA FÍSICA EN HEISENBERG: ONTOLOGÍA DE LA MATERIA

Las restricciones epistemológicas planteadas por el principio de incertidumbre y de complementariedad nos han arrojado mayor claridad sobre la noción de materia en Heisenberg. En el presente capítulo pretendemos realizar una última explicitación de dicha noción. Para ello realizaremos una reflexión del problema desde una perspectiva ontológica. La alusión a la filosofía griega en particular que pretendemos efectuar aquí no es arbitraria, sino que obedece al anhelo por mostrar y explicitar las fecundas raíces filosóficas de la física de Heisenberg en la tradición helena. Dicha alusión corresponde al diálogo consciente y constante que mantuvo nuestro autor con la filosofía griega, en particular, a la hora de ir enfrentando las dificultades y paradojas en su labor como físico ante el fenómeno atómico.

En una primera aproximación queremos mostrar el trasfondo ontológico de la pregunta por la materia desde una perspectiva general e histórica, luego relacionarla con la reflexión particular llevada a cabo por Heisenberg en este plano, para finalmente analizar de manera crítica algunos puntos, a juicio nuestro, débiles de su concepción sobre la materia. Solo así podremos estar en condiciones de indicar el aporte preciso por parte de nuestro autor a la pregunta por la materia.

Heisenberg y la materia

Al interior de esta compleja malla histórica-conceptual que hemos intentado deshilar en la sección anterior, se encuentra el intento de Heisenberg por establecer un diálogo con la tradición griega con el fin de aportar luz a las preguntas fundamentales que la teoría cuántica vuelve a replantear en relación con la materia. Cabe decir que este diálogo es hermenéutico, por cuanto el propósito de Heisenberg fue intentar re-pensar las reflexiones de la filosofía griega en torno a la naturaleza, con el fin de elucidar desde su situación histórica concreta, posibles nuevas formulaciones teóricas para el fenómeno atómico. En este diálogo, que hemos mostrado en capítulos anteriores, resalta, por una parte, el valor perenne de la filosofía griega y por otra parte, la originalidad por parte de Heisenberg en el modo de aplicar dichas especulaciones al fenómeno cuántico. Esta aplicación consiste en la traducción de nociones filosóficas a una realidad histórica distinta, es decir, se trata de interpretar. “La idea y real necesidad de ‘interpretar’ el significado de las teorías físicas actuales y particularmente de la mecánica cuántica, emerge como tentativa epistemológica inherente a la creatividad misma de esta disciplina”¹³¹ En otras palabras, las antiguas reflexiones de la filosofía griega, v. gr. el atomismo de Leucipo y Demócrito, la teoría hylemórfica de Aristóteles, entre otras, permitieron a Heisenberg establecer un paralelo entre dichas reflexiones y la teoría cuántica. Dicho paralelo fue posible gracias a la intuición por parte de Heisenberg de que tanto los filósofos griegos como la moderna física atómica lidiaban, con la misma pregunta fundamental, a saber, ¿de qué están hechas las cosas?, pregunta que se equipara a la interrogante por la unidad del mundo natural¹³²

Mas, si bien encontramos en la reflexión sobre el mundo natural una inclinación por encontrar corpúsculos mínimos y últimos, no obstante ello, el **método** por elaborar dicha búsqueda ha sido ampliamente orientado por el lenguaje matemático. Pues bien, en el caso de Heisenberg no ocurre lo contrario, empero su aporte estriba en la interpretación por él propuesta a la teoría cuántica en general. Al margen de su gran afinidad por el lenguaje matemático, nuestro autor estuvo consciente que el fenómeno cuántico no se agotaba en un problema epistémico ni mucho menos en una formulación de índole formal. Así, él supo desde sus reflexiones iniciales que la materia era una noción constituyente del fenómeno atómico. Dicho en otras palabras, Heisenberg, consciente del carácter revolucionario de la teoría cuántica, estuvo al tanto que un nuevo punto de vista sobre la naturaleza implicaba una nueva consideración sobre la pregunta por la unidad

¹³¹ F. Schwartzman, *Historia del Universo y Conciencia*, Ediciones LOM, Santiago, 2000, p. 129.

¹³² Cf. H. Hörz, *op. cit.*, p. 221 y ss. No resulta entonces extraño ver que la pregunta por la materia es una interrogante que recorre de punta a cabo toda las reflexiones en torno a los fundamentos de la física. Así por ejemplo, Hörz sostiene que: “La suposición de la unidad material del mundo, de la existencia de elementos primarios, fue primero una hipótesis materialista genial, la cual encontró también su continuación en pensadores posteriores, por ejemplo en el panteísmo de Spinoza, para quien la naturaleza era causa sui, origen de sí misma” H. Hörz, *op. cit.*, p. 221.

del mundo material. Al entrar en dicha consideración, nuestro autor estuvo consciente de que estaba buscando una reflexión filosófica coherente con la teoría cuántica. A propósito de algunas consideraciones sobre la filosofía presocrática, nuestro autor deja entrever esta idea: “La ciencia moderna ha seguido muchas tendencias de la antigua filosofía natural griega, reconsiderando los problemas con los cuales dicha filosofía ha luchado en un primer intento por entender el mundo circundante”¹³³ Estas tendencias que la física contemporánea ha tomado de la antigua filosofía griega son, a juicio de Heisenberg, las siguientes dos: “la convicción que la materia consiste en unidades mínimas indivisibles, los átomos, y la creencia en el expreso poder directivo que las estructuras matemáticas”

134

De este modo, Heisenberg reconoce el valor de la reflexión filosófica. Gracias a dicho reconocimiento pudo estar en condiciones de poder otorgar algunas consideraciones importantes a la hora de hacer frente a la noción de materia. De aquí que un acercamiento al aspecto ontológico de esta noción se relacione directa e inevitablemente con la filosofía de la física por él desarrollada. Por ende, toda la labor teórica llevada a cabo por Heisenberg está implícitamente, al menos en primera instancia, sustentada por la vieja interrogante filosófica: ¿Hay algo permanente tras el cambio? Ahora bien esta unidad estuvo desde siempre condicionada en la obra de nuestro autor por el idealismo platónico, como ya lo hemos mostrado¹³⁵, llevándolo a la búsqueda por una ecuación matemática que fuera capaz de expresar dicha unidad subyacente. Esto explica por qué para Heisenberg el concepto atómico de Leucipo y Demócrito es tan diferente al propuesto por la teoría cuántica. Se trata en definitiva que el átomo de la teoría cuántica es puramente simbólico, mientras que el átomo de los griegos y por extensión el de la física clásica, v. gr. Newton, es ingenuamente materialista. Mas, este simbolismo no debe ser entendido como algo puramente formal. Todo símbolo es símbolo **de algo** y esa referencialidad nos instala de lleno en el aspecto ontológico de nuestra temática.

Ahora bien, nos preguntamos: **¿cómo fundamenta Heisenberg el carácter referencial de la noción de materia? ¿es posible objetivar la teoría sobre un mundo real y efectivo, es decir, independiente de nuestra conciencia?** Para ello creemos conveniente, en primer lugar, dejar en claro la relación que posee esta interrogante con la pregunta por la materia. No es difícil percatarnos, si tenemos presente la exposición sobre el fenómeno cuántico que hemos realizado hasta aquí, que la teoría cuántica es una teoría acerca de los fundamentos de la naturaleza. Por ende el estudio de las partículas elementales se relaciona con la vieja pregunta: ¿de qué están hechas las cosas? “Al hacer frente a la pregunta ‘¿Qué es un electrón?’ estamos preguntando de manera esencial, ‘¿Qué es la materia?’”, después de todo, un electrón es tan solo un trozo de materia y todo los aspectos extraños de su comportamiento son compartidos por protones y neutrones, los cuales son los otros bloques de construcción para la materia ordinaria que permiten formar cosas como mesas y sillas”¹³⁶ Por ende, siguiendo a Mailin

¹³³ W. Heisenberg, *Philosophic Problems of Nuclear Science*, p. 53.

¹³⁴ *Ibidem*.

¹³⁵ Cf. Capítulo II.

en este punto, la teoría cuántica sí está muy relacionada con la pregunta por la materia.

Ahora bien, como ya veíamos, Heisenberg se desentiende de la concepción materialista de los átomos. De acuerdo con la concepción por parte de nuestro autor, la materia no puede ser objetivada en un espacio de tipo euclideo, absoluto, independiente de nosotros, sobre el cual adscribamos a las partículas elementales propiedades de tipo esenciales e inmutables. Así, basándonos en el principio de incertidumbre y en el principio de complementariedad la manera de acceder al fenómeno cuántico es meramente probabilística. Entonces, ¿qué tan real es un átomo? Si sus propiedades están, según los principios antes mencionados, condicionadas por el acto de observación, entonces su existencia está determinada inevitablemente por una subjetividad. Por lo tanto el fenómeno cuántico se agotaría en el plano de una problemática epistemológica.

Detengámonos un momento sobre este crucial punto. Si tenemos presente lo expuesto sobre las influencias de Aristóteles en Heisenberg, recordaremos que él toma las nociones de acto y potencia. De acuerdo con la “interpretación” por parte del autor del principio de incertidumbre, la materia en la teoría cuántica equivaldría a la materia primera de Aristóteles, es decir, sería pura potencialidad. Mas, cuando la observamos, entonces la actualizamos, obteniendo con ello las distintas partículas elementales hasta ahora conocidas. Esta interpretación se concilia ampliamente con la concepción probabilística que plantea la teoría cuántica. Entonces, la materia se presenta al interior de la labor intelectual de Heisenberg como el anhelo por encontrar una teoría que sea capaz de dar cuenta de esta transmutación, es decir, de este paso de la pura posibilidad a la actualidad. Dicho en un lenguaje más cercano a la física actual, se trata de dar cuenta de la transformación inherente a las partículas. Como afirma Hörz: “Los pensamientos fundamentales de Heisenberg para una teoría unitaria de las partículas fundamentales se concentraban ante todo en la mutabilidad entre las partículas. Cuando se pudieran transformar las partículas entre sí, cuando la materia [Stoff] se transformara y volviera en radiación, entonces se podrían concebir las partículas mismas como estados determinados de una protomateria [Urmaterie], que representara el material de construcción para todas las partículas”¹³⁷ Tal proyecto no llegó a ser realizado por Heisenberg. Mas en el intento por elaborar dicha teoría fundamental se dejan entrever claros atisbos de su idea de materia.

Con todo, el paralelo entre Heisenberg y la tradición griega se produce a propósito de la noción metafísica de substancia. La substancia se equipara en la física de Heisenberg con la noción actual de energía. Ante este paralelo pareciera que la intuición de Heisenberg logra llevar a su máxima expresión las especulaciones griegas, logrando sustentar dichas especulaciones mediante una teoría experimental y matemáticamente contrastable. Empero, la propuesta teórica por parte de nuestro autor debe lidiar con la difícil pregunta más arriba planteada, a saber, **¿es posible objetivar la teoría sobre un**

¹³⁶ Shimon Malin, *Nature loves to hide: Quantum Physics and the Nature of Reality, a Western Perspective*, Oxford University Press, New York, 2001, p. 46.

¹³⁷ H. Hörz, *op. cit.*, p. 227.

mundo real y efectivo, es decir, independiente de nuestra conciencia? En otros términos, ¿es la teoría sobre las partículas elementales un elemento acerca de la realidad? Si aceptamos el carácter probabilístico de la teoría cuántica, entonces la noción de materia que de ella se desprenda no pasa ser más que una construcción teórica y con ello volvemos a quedar circunscritos a un plano epistemológico.

Conocida es la expresión, "...es la teoría lo que decide qué podemos observar". Esta reflexión corresponde a Einstein y la razón de por qué hacemos a ella referencia, estriba en que el propio Heisenberg fue influenciado por ella en una conversación privada que él tuvo en su juventud con el autor de la teoría de la relatividad. Esta reflexión permitió a Heisenberg desprenderse de la influencia del empirismo de Mach, según el cual la labor de la física consiste en únicamente describir los datos sensoriales, apelando para ello al **principio de economía**. Heisenberg adoptó el postulado de Einstein y con ello, de manera inconsciente, aceptaba que la naturaleza admite más de una lectura. Objetivamente la naturaleza está ahí independiente de nosotros, empero es la teoría la que nos sitúa en un determinado punto de vista ¹³⁸ De aquí que la formulación de una teoría como la cuántica nos obligue a dejar una serie de factores propios de la teoría "ya" aceptada, lo cual no siempre resulta fácil. "Un cambio mayor de paradigma es complejo y difícil, porque un paradigma nos mantiene cautivos. Nosotros vemos la realidad *a través* de él, como a través de lentes de colores, pero nosotros no lo sabemos. Estamos convencidos que vemos la realidad tal como es. De aquí que la aparición de un nuevo y diferente paradigma es a menudo incomprensible. A alguien que nació creyendo que la tierra es plana, la sugerencia de que la tierra es esférica le parecería absurda. ¿Si la tierra fuese esférica, no se caerían la pobre antípoda 'hacia abajo' en el cielo?" ¹³⁹ Por ende, la teoría cuántica nos obliga, o mejor dicho nos invita, a que nos percatemos de las limitaciones epistemológicas propias del fenómeno atómico, teniendo con ello que aceptar una concepción probabilística del mismo. Al interior de esta "nueva" visión de la naturaleza la materia se muestra en una faceta distinta. Mas, esta "nueva" faceta – y así acontece al interior de la obra de Heisenberg- nos sitúa "momentáneamente" en otra perspectiva. En otras palabras la teoría cuántica nos permite acceder a un ámbito fenoménico determinado, empero la explicación sigue estando como un supuesto. Concluimos esta sección citando una importante afirmación por parte Hörz respecto a Heisenberg y el problema de la materia: "Las partículas elementales son los elementos en este sistema, sus reacciones de relaciones. Puesto que las partículas se transforman entre sí, ellas son únicamente elementos estructurales de un campo material [Materiefeldes] existientemente objetivo, cuya naturaleza no está plenamente conocida. **La protomateria de Heisenberg no es el fundamento absoluto de las cosas, ni tampoco es la realidad última** [Die Urmaterie Heisenbergs ist nicht der absolute Urgrund der Dinge, nicht die letzte Realität]" ¹⁴⁰ Si no es la realidad última, según Hörz,

¹³⁸ De no ser así, ¿cómo se explica que un mismo fenómeno haya sido interpretado de distintas maneras? Esto no excluye que una determinada concepción haya influido más en otra época.

¹³⁹ S. Malin, *op. cit.*, p. xii, *Introduction*.

¹⁴⁰ H. Hörz, *op. cit.*, p. 237. La negrita es nuestra.

preguntamos entonces por la posibilidad de una teoría objetiva de la materia. En otros términos, preguntamos por el acceso ontológico de la concepción de materia en Heisenberg.

Pues bien, a la luz de lo recorrido a lo largo de nuestra investigación, sostenemos que para Heisenberg la materia es epistémicamente discreta, mas ontológicamente continua. Cuando observamos alteramos el continuo de la energía, obteniendo una concepción –probabilísticamente fundada- discreta de la materia. Ahora bien, el acto de la observación solo es posible mediante un lenguaje matemático. Por consiguiente, desde el interior mismo de la filosofía de la física de Heisenberg, sostenemos que observar es medir y medir es alterar.

CONCLUSIÓN: REFLEXIONES A POSTERIORI

En el presente capítulo pretendemos realizar algunas reflexiones sobre los puntos más relevantes de nuestra investigación. Por ende, más que una síntesis escolar acerca del camino recorrido, nuestra intención es plantearnos algunas interrogantes que surgen luego de un acercamiento como el hecho a lo largo de nuestra investigación sobre el problema de la materia en Heisenberg. Con ello queremos realizar una reflexión filosófica. Mas, en esta reflexión es inevitable optar por una lectura en particular. Dicha lectura no corresponde, dejamos desde ya en claro, a una arbitrariedad subrepticamente instaurada en nuestra reflexión. Por el contrario, es el punto de vista abierto y claro al que una auténtica reflexión filosófica debe siempre aspirar. Por consiguiente, las conclusiones que se encuentren aquí son la lectura misma realizada por nosotros y en ningún caso pretenden ser una serie de proposiciones cerradas y excluyentes a otras posibles lecturas.

Sin duda que el aspecto más importante de la teoría cuántica radica en el nuevo modo de concebir la naturaleza. Este modo o punto de vista, supera con creces una mera problemática interna en la formación misma de la teoría. De aquí que Heisenberg estuvo consciente del ineludible esfuerzo por intentar entender las consecuencias filosóficas que la teoría cuántica encierra. Por ende, resulta paradójico que esta teoría sea considerada hoy en día una de las más poderosas desde una perspectiva matemática en la historia de la ciencia, pero a su vez la filosóficamente más débil. “Lo que llamamos ‘mecánica

cuántica' son realmente dos sistemas de pensamiento. En primer lugar, ecuaciones y procedimientos que nos indican cómo calcular cantidades que deseamos conocer. En segundo lugar, un marco conceptual que se refiere al dominio subatómico, atómico y molecular, un marco conceptual que, al menos en ciertos aspectos, puede ser extendido de la misma manera a la vida diaria e incluso a niveles astronómicos”¹⁴¹ Respecto de la formulación matemática no ha habido mayor problema entre la comunidad científica, mientras que en relación al marco conceptual sí. Esta evidente falta de consenso no hace más que resaltar lo complejo del fenómeno cuántico. Como afirma Schwartzmann: “Uno de los rasgos más expresivos de la física en el siglo XX se manifiesta en el carácter problemático que ostenta la noción de realidad del mundo físico”¹⁴² Este carácter problemático de la noción de realidad resulta comprensible, si tenemos presente que nociones tan fundamentales como causalidad, tiempo, espacio, sujeto y objeto han sido criticadas, replanteadas y restringidas en su significación tradicional por las dos grandes teorías del siglo XX, a saber, la teoría de la relatividad y la teoría cuántica. Esta falta de consenso refleja el sinuoso terreno sobre el cual opera una reflexión filosófica sobre el tema. De aquí que Malin afirme lo siguiente: “Pero puesto que este aspecto conceptual no juega ningún rol en la aplicación diaria de la teoría cuántica para la solución de problemas, estas preguntas conceptuales son usualmente relegadas a un segundo plano y son allí olvidadas, hasta que alguien comience a preocuparse por ellas”¹⁴³

En relación con lo anterior, encontramos que la noción de materia inserta en las especulaciones de la física cuántica, también fue objeto de una reinterpretación y crítica. Así, ateniéndonos a lo expuesto en nuestra investigación, intentamos preguntar aquí por las consecuencias filosóficas de la reinterpretación y crítica por parte de Heisenberg a la noción de materia. Por consiguiente, abordamos una problemática de tipo filosófica, es decir, hacemos frente al tipo de pregunta relegada usualmente a un segundo plano.

Para abordar dichas consecuencias en nuestro físico debemos primero hacer frente a la siguiente interrogante: ¿Hay una filosofía expresa elaborada por Heisenberg acerca del fenómeno atómico? No. De hecho, como hemos mostrado en nuestra investigación, Heisenberg no elaboró –tampoco pretendió hacerlo– una filosofía de su trabajo. Por consiguiente, la noción de materia en Heisenberg, filosóficamente hablando, fue siempre una reflexión condicionada por la física misma. La distancia propia del filósofo no está presente totalmente en él. Empero, tal distancia no es posible exigírsela, por cuanto su punto de partida fue su labor teórica como físico. En esta transformación gradual de pensamiento, la falta de una filosofía sistemáticamente elaborada por parte de nuestro físico, se ve suplida por un deseo de ir **pensando** su concepción de la naturaleza. En otras palabras, se trata del proceso de maduración que fue padeciendo la obra de Heisenberg. Dicha maduración no hubiese sido posible sin una constante preocupación por la reflexión.

¹⁴¹ S. Malin, *op. cit.*, p. 90.

¹⁴² F. Schwartzmann, *op. cit.*, p. 323.

¹⁴³ S. Malin, *op. cit.*, p. 90.

Ahora bien, en este proceso de maduración de sus ideas, siempre guiado por la filosofía griega y en particular la platónica, va aflorando con mayor fuerza una problemática de índole antropológica. Por ende, la tarea de elaborar una teoría matemáticamente satisfactoria queda cada vez más comprometida con la pregunta acerca de la naturaleza del observador mismo. De aquí que la pregunta por la materia no se agota en una pregunta por el fundamento de la realidad, al modo de una categoría cognoscitiva, sino que desvela un problema tan complejo como el de la conciencia humana ¹⁴⁴ Ya hemos hecho mención a la aseveración por parte de Heisenberg de que a la luz de la teoría cuántica, **el objeto de la investigación no es la Naturaleza en sí misma, sino la Naturaleza sometida a la interrogación de los hombres**. Este cambio de eje en la pregunta, vale decir, del en sí de la Naturaleza al en sí de la conciencia, refleja el cambio conceptual de la “nueva” física.

Con todo, ¿estamos por ende ante una especie de nuevo paradigma? De ser así surge una inevitable inconmensurabilidad con respecto a la física clásica y en general con la tradición entera. Empero, ¿cómo se explica el diálogo establecido por Heisenberg con la filosofía griega? Una inconmensurabilidad de paradigmas no permitiría que tanto las reflexiones contenidas en *El Timeo* como la noción de materia aristotélica hayan sido fundamento fértil para las concepciones teóricas por parte de nuestro autor. Más aún, las reflexiones contenidas en la filosofía griega se consolidaron como el trasfondo filosófico de las especulaciones llevadas a cabo por nuestro físico. No obstante ello, es menester preguntarnos por la “nueva” concepción de materia que tal diálogo provocó. “Al principio era la simetría”; esto es algo, sin duda, más acertado que la tesis de Demócrito: ‘Al principio era la partícula’. Las partículas elementales encarnan las simetrías, son aquéllas las representaciones más sencillas de éstas, pero no son más que una consecuencia de las simetrías” ¹⁴⁵ Esta aseveración por parte de Heisenberg corrobora lo enunciado por nosotros al final del capítulo anterior. Se trata en definitiva que la física cuántica al elaborar una teoría que de cuenta del fenómeno atómico, intenta formular una imagen originaria de la naturaleza. Se busca una teoría que describa potencialmente todas las transformaciones de las partículas elementales. Esta búsqueda por una imagen originaria no es nueva en la historia de las ideas. El propio Heisenberg nos da la pauta al afirmar que: “Al hacer constar esto, no puedo dejar de pensar en la ciencia natural de Goethe, quien quería derivar toda la botánica de la planta primitiva. La planta originaria sería un objeto, pero también significaría, asimismo, la estructura fundamental según la cual se han formado todas las plantas [...] Al hablar así, por supuesto, hemos entrado ya en el centro de la filosofía de Platón. Las partículas elementales pueden compararse con los cuerpos regulares del *Timeo*, de Platón. **Son los prototipos, las ideas de la materia**” ¹⁴⁶ De acuerdo con Heisenberg, la moderna física atómica no ha hecho más que volver sobre la búsqueda que se remonta a la antigua filosofía griega, es decir, a la búsqueda

¹⁴⁴ No resulta accidental entonces que durante el florecimiento de la teoría cuántica comenzara, producto de las propias paradojas que dicha teoría encierra, desde una perspectiva nueva un interés por entender el fenómeno de la conciencia.

¹⁴⁵ W. Heisenberg, *Diálogos sobre la física atómica*, p. 296.

¹⁴⁶ *Ibidem*, p. 297. La negrita es nuestra.

por una unidad que de cuenta de la multiplicidad fenoménica. Esta unidad, que nuestro autor llama **orden central**, consiste en el punto de partida de toda reflexión filosófica, el presupuesto de toda tarea científica. Así, la materia se perfila en Heisenberg como una realidad de tipo ideal, un supuesto filosófico que le da coherencia y unidad a la multiplicidad del fenómeno atómico expresada a la luz de la evidencia experimental.

En este punto se hace necesario insertar la pregunta por la materia en el pensamiento entero de Heisenberg, para realizar desde allí una reflexión unitaria. Podemos decir que, la física tiene sus orígenes en la astronomía. En estos orígenes se trataba del intento por poder describir los movimientos celestes, es decir, la física queda entendida como una disciplina que estaba supeditada a la especulación metafísica. Con el tiempo y de mano del método experimental la física intentó relegarse de dicha dependencia al fundar todo su saber en principios de carácter matemático. Empero esta separación ha sido aparente, pues los principios sobre los cuales se funda una teoría física son siempre punto de convergencia con algún tipo de reflexión filosófica. Valga como ejemplo las teorías físicas acerca de la naturaleza de la luz que **suponían** la existencia del éter. En este recorrido por lograr comprender bajo una ley, es decir, bajo una norma epistémica, los procesos del mundo natural, se deja entrever un despliegue histórico que podemos claramente denominar historia de la naturaleza. En derredor de ella, se agrupan los distintos intentos por aprehender el acontecer de los fenómenos naturales. En este suceder histórico de la física, las preguntas fundamentales acerca de la naturaleza, las grandes especulaciones metafísicas de la historia, se han acuñado de tal modo en la física que pasan a ser el punto de partida desde el cual se inicia todo intento por entender la naturaleza en su multiplicidad.

Esta relación resulta manifiesta si nos acercamos al mito de la caverna de Platón. Esta imagen alegórica ha poseído una gran importancia para la historia de la filosofía. Resulta interesante ver entonces que dicha alegoría por parte de Platón esté presente también en las reflexiones realizadas por diversos físicos a lo largo de la historia, incluyendo al propio Heisenberg.

La alegoría de la caverna se encuentra al inicio del libro VII de la República de Platón. El filósofo recurre a ella para explicar un elemento fundamental de su pensamiento, a saber, la distinción entre un mundo sensible y uno inteligible. Los hombres que se encuentran allí prisioneros en la caverna no tienen otro conocimiento que el proporcionado por las sombras que se reflejan contra la pared¹⁴⁷ Puesto que ellos han estado desde siempre allí, dichas sombras son el único conocimiento que poseen. Mas, según el relato, uno de ellos es liberado y con ello toma conciencia de que las figuras en la pared son solo sombras de objetos y que fuera de la caverna se encuentra el sol, fuente de toda luz. Luego, el prisionero liberado, al comparar su situación anterior con la presente, experimenta lo siguiente según las palabras del propio Platón: “¿Y ahora qué? Si se acordase de su primera morada y del saber allí reinante y de los que estaban allí encadenados con él, ¿no crees que se consideraría dichoso del cambio sufrido, y por el contrario, lamentaría la suerte de los otros?”¹⁴⁸ ¿Qué nos dice la alegoría de la

¹⁴⁷ En términos más precisos, ellos ni siquiera saben que están en una caverna, pues nunca han salido de ahí.

¹⁴⁸ Platón, *República*, VII.

caverna respecto a la física en particular?, ¿es posible efectuar una lectura propia para la labor del físico? En otras palabras, preguntamos por la posibilidad de insertar al físico en la alegoría de la caverna.

Para realizar una lectura de la alegoría en relación con el papel del físico, es menester tener presente que él no es el personaje principal aludido en dicho relato. Toda la alegoría está orientada en resaltar el papel del filósofo, solo él es capaz de contemplar la naturaleza última de las cosas, de salir a la intemperie, fuera de la caverna. El filósofo está llamado por su modo de vida contemplativo, según el ideal platónico, a seguir esta senda. No obstante ello, al interior de la caverna es posible encontrar a un tipo de hombres que pese a no haber podido salir de la caverna, han sido capaces de encontrar un saber, cuyo objeto es encontrar la armonía de las sombras, es decir, de buscar una unidad que de cuenta de la multiplicidad. Tal tipo de hombres son los físicos. El físico francés Duhem afirma lo siguiente al respecto: “Esclavo del método positivo, el físico es como el prisionero de la caverna. El conocimiento a su disposición no le permite ver nada excepto una serie de sombras en perfil proyectadas sobre la muralla frente a él. Pero él supone que esta teoría de siluetas cuyos contornos son sombreados, es únicamente la imagen de una serie de figuras sólidas. [Además] él afirma la existencia de esta figuras invisibles más allá de la muralla que él no puede escalar”¹⁴⁹ Pese a estar confinado por el método positivo, el físico es capaz de suponer un orden tras el despliegue de sombras. En otras palabras, gracias a su búsqueda por leyes que ordenen la multiplicidad, él puede distinguir que las siluetas remiten a otra cosa, es decir, que son solo imágenes, sombras. En esta misma línea encontramos a nuestro autor, quien sostiene lo siguiente: “Quien medita sobre la filosofía de Platón sabe que el cosmos se define por medio de imágenes”¹⁵⁰ Heisenberg, siguiendo las reflexiones de Platón, ve la labor del físico como un buscar una imagen que describa del modo más exacto posible el devenir de los fenómenos naturales. Para ello **supone** que la teoría que elabora es imagen de un orden más allá de los fenómenos. “Las leyes matemáticas de la naturaleza que pueden ser encontradas por debajo de los fenómenos naturales, aparecen a él [Platón] de primera importancia comparadas con la variedad de cambios de los fenómenos mismos. Ninguna otra labor de la ciencia es comparable a la búsqueda de leyes permanentes de los fenómenos mudables. Es importante y característico que Platón insista en este aspecto de la ciencia, que nosotros ahora de manera ocasional llamamos su aspecto ‘formal’. En un lugar, por ejemplo, Platón habla acerca de los seguidores de Pitágoras y de sus investigaciones con las oscilaciones y las armonías de las cuerdas. Para él, el único rasgo importante de estos experimentos son las relaciones numéricas que subyacen a estas armonías. Los fenómenos mismos permanecen adjuntos de manera secundaria. Pero la percepción y entendimiento de la naturaleza que puede ser obtenido por el estudio de su estructura matemática es, en la visión de Platón, sólo el prelude a la melodía propia que es el propósito real de aprender. Es un paso al conocimiento de la ‘naturaleza’ de las cosas, al estado primario de la percepción verdadera. Aquellos que olvidan este hecho están asociados a los prisioneros que aceptan el movimiento de las sombras como la realidad

¹⁴⁹ Pierre Duhem, *op. cit.*, p. 299.

¹⁵⁰ W. Heisenberg, *Diálogos sobre la física atómica*, p. 304.

completa. Ellos nunca verán la luz verdadera. La importancia que el filósofo adjunta al conocimiento ‘verdadero’ de los métodos de la ciencia común está subrayada por la posición que él asigna, en su analogía, al hombre que posee el conocimiento completo por sobre los otros prisioneros”¹⁵¹ Al interior de la alegoría de la caverna es posible distinguir varios tipos de conocimiento. Respecto a la lectura aquí realizada interesa por sobre todo la relación entre δίανοια y επιστήμη. El primero de ellos corresponde al conocimiento de la naturaleza misma de las cosas, mientras que el segundo es el conocimiento obtenido mediante las ciencias naturales. La labor de la metafísica ha estado desde sus orígenes relegada al primero de ellos, mientras que la física al segundo. De aquí que sea lícito preguntar, desde la alegoría misma: ¿cuál es la relación entre ambos modos de conocimiento?, es decir, ¿cuál es la relación entre física y filosofía? El propio Heisenberg es claro al afirmar que: “...una mirada sobre este desarrollo hace surgir la impresión que estos dos tipos de percepción επιστήμη y δίανοια, si bien en un sentido son dependientes, sin embargo se encuentran una respecto de otra en una relación mutuamente exclusiva”¹⁵²

Empero, a propósito de esta labor por elucidar leyes que den cuenta de la multiplicidad fenoménica se deja ver una preferencia por el lenguaje matemático por parte de Heisenberg. Esto reflejaría una jerarquía de lenguajes. ¿Es tan así? En este sentido, la postura de Heisenberg resulta ambigua. Si bien es cierto, desde una perspectiva filosófica la influencia platónica deja ver una clara afinidad por el lenguaje matemático, por el contrario una serie de aspectos personales en la vida de nuestro autor dejan el mérito a la duda. Así, su gran afinidad por la música y el pensamiento literario de Goethe hacen notar esta falta de claridad. En otras palabras, una jerarquía de lenguajes resulta poco claro de establecer en el pensamiento de Heisenberg. Por consiguiente al interior de su obra no queda nunca expresado de manera clara si el lenguaje matemático posee efectivamente una relevancia sobre otros tipos de lenguaje, v. gr. poético o religioso. El orden central al cual él alude pareciera estar asequible no solo al lenguaje matemático.

Con todo, la labor teórica de Heisenberg tiene siempre presente esa referencia a un orden ontológico por parte de la teoría. Con el correr del tiempo la física se ha moldeado entonces como una disciplina del cómo en contraposición al por qué. Contraposición que Heisenberg distingue entre explicación de la naturaleza (Naturerklärung) y descripción de la naturaleza (Naturbeschreibung)¹⁵³ Así, nuestro físico está inserto al interior de esta continua tensión que se desarrolla a lo largo de la historia de la física. “De este modo, el físico afirma que el orden en el cual dispone los símbolos matemáticos, en orden a constituir una teoría física, es el reflejo cada vez más claro de un orden ontológico, de acuerdo al cual las cosas inanimadas son clasificadas”¹⁵⁴ Este orden sin duda que está más allá del método propio del físico, pero constituyen el referente que guía su labor

¹⁵¹ W. Heisenberg, *Philosophic Problems of Nuclear Science*, p. 33.

¹⁵² *Ibidem*, p. 34.

¹⁵³ *Ibidem*

¹⁵⁴ P. Duhem, *op. cit.*, p. 299.

teórica.

Por consiguiente, la física es una disciplina que se encuentra en una situación bastante curiosa. Por un lado ella está claramente delimitada por un método matemático, mientras que por otro lado mediante dicho método intenta hacer alusión a un más allá que relega a la reflexión filosófica pura. En relación con lo dicho, resulta interesante recordar aquí la conocida imagen de Newton, quién se reconocía como un niño recogiendo conchas a la orilla del mar, desplegándose tras él el gran océano de la verdad. Sin duda que Heisenberg tuvo siempre presente el gran océano que a sus espaldas yacía. El constante diálogo que él mantuvo con la filosofía griega así lo confirma.

De este modo, la pregunta por la materia en Heisenberg está claramente relacionada con la reflexión filosófica hasta el punto de encontrarse en un ámbito limítrofe donde física y metafísica colindan. No es de extrañar entonces que Heisenberg sostuviese que **la ciencia está arraigada en conversaciones**, es decir, en diálogo.

Bibliografía

- Aristóteles, *Physics*, translated by Hardie R. and Gaye R. Edited by J. Barnes, *The Complete Works of Aristotle*, vol. I., Princeton University Press 1985.
- Aristóteles, Física: Libros I-II, traducción Marcelo D. Boeri, Editorial Biblos, Bs. Aires, 1993.
- Aristóteles, *Metafísica*, Gredos, 3ª Reimpresión, Edición Trilingüe: Valentín García Yebra, Madrid, 1998.
- Baeumker Clemens, *Das Problem der Materie in der griechischen Philosophie*, Minerva GMBH, Frankfurt am Main, 1963.
- Barrington Jones, *Aristotle's Introduction of Matter*, *The Philosophical Review*, vol. LXXXIII, N° 4, October, 1974, p. 474-500.
- Beller Mara, *Quantum Dialogue: The making of a Revolution*, The University of Chicago Press, 1999.
- Bohr Niels, *Atomic Physics and Human Knowledge*, Science Editions, New York, 1961.
- Bohr Niels, *La teoría atómica y la descripción de la naturaleza*, Editorial Alianza Universidad, Madrid, 1988.
- Bunge Mario, *Causalidad: El principio de causalidad en la ciencia moderna*, Editorial Universitaria de Bs. Aires, 3ª edición, 1972.
- Cassidy David, *Uncertainty: The life and science of Werner Heisenberg*, W. H. Freeman and Company, New York, 1992.

- Claro Francisco, *A la sombra del asombro: El mundo visto por la física*, Editorial Andrés Bello, 3ª edición, Santiago, 1999.
- De Broglie Louis, *Física y Microfísica*, Espasa-Calpe, Bs. Aires, 1951.
- De Broglie Louis, *La física nueva y los cuantos*, Editorial Losada, Bs. Aires, 1952.
- Donald C. Williams, *Form and Matter I*, *The Philosophical Review*, vol. LXVII, N° 3, July 1958, p. 291-312.
- Donald C. Williams, *Form and Matter II*, *The Philosophical Review*, vol. LXVII, N° 4, October, 1958, 499-521.
- Duhem Pierre, *The Aim and Structure of Physical Theory*, Princeton University Press, 1954.
- Espinoza Miguel, *Is reality veiled?*, *Diálogos*, año XXVII, N° 60, Julio 1992, p. 119-141.
- Gomez J. L., *Naturaleza y filosofía griega. De la «physis» a la «meta-physis»*, *Pensamiento*, vol. 51, N° 201, Septiembre-Diciembre, 1995, p. 353-367.
- Heelan Patrick A., *Quantum Mechanics and Objectivity: A study of the physical philosophy of Werner Heisenberg*, Martinus Nijhoff, The Hague, 1965.
- Heimendahl Eckart, *Física y filosofía*, Ediciones Guadarrama, 1969.
- Heisenberg Werner, *The physical principles of the quantum theory*, Chicago University Press, reprinted 1940.
- Heisenberg W., *Diálogos sobre la física atómica*, Editorial B. A. C., 2ª edición, Madrid, 1972.
- Heisenberg W., *Encuentros con Einstein y otros ensayos*, Editorial Alianza, 3ª edición, Madrid, 1985.
- Heisenberg W., *La imagen de la naturaleza en la física actual*, Ariel, 2ª edición, Barcelona, 1976.
- Heisenberg W., *Philosophic problems of nuclear science*, Pantheon, New York, 1952.
- Heisenberg Werner, *Physics and Philosophy: The revolution in modern science*, Unwin University Books, 2nd impression, Great Britain, 1963.
- Holton Gerald, *Ensayos sobre el pensamiento científico en la época de Einstein*, Alianza Universidad, 1982.
- Hörz Herbert, *Werner Heisenberg und die Philosophie*, **VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlín, 1968.**
- Husserl Edmund, La crisis de las ciencias europeas y la fenomenología trascendental , Editorial Crítica, Barcelona, 1991.**
- Kant Immanuel, *Crítica de la razón pura*, Editorial Alfaguara, 14ª edición, Madrid, 1998.
- Kranz Walter, *Historia de la Filosofía*, Tomo I, Parte I: *Los presocráticos*, UTEHA, 4ª edición, 1962, México,
- Landé Alfred, *The decline and fall of quantum dualism*, *Philosophy of Science*, vol. 38, N° 2, June, 1971, p. 221-223.
- Laszlo Erwin, *The ideal scientific theory: A thought experiment*, *Philosophy of Science*, vol. 40, N° 1, March, 1973, p. 75-87.
- Malin Shimon, *Nature Loves to Hide: Quantum Physics and the Nature of Reality, a*

-
- Western Perspective*, Oxford University Press, 2001.
- Monserrat Javier, *Penrose y el enigma cuántico de la conciencia*, Pensamiento, vol. 56, N° 215, Mayo-Agosto, 2000, p. 177-208.
- Padrón Héctor Jorge, *Materia y materiales en Aristóteles*, Editorial Fundación Ross, 1987.
- Platón, *Sämtliche Werke*, herausgegeben von Walter F. Otto, Ernesto Grassi, Gert Plamböck, v. 5, Editorial Hamburg: Rowohlt, 1957-1959.
- Platón, *Diálogos*, traducción y notas J. Calonge Ruiz, E. Lledó Iñigo y C. García Gual, vol. 6, Gredos 1981-[19--].
- Popper Karl, *Teoría cuántica y el cisma en física: Post scriptum a la Lógica de investigación científica*, v. III, editorial Tecnos, 2ª edición, Madrid, 1992.
- Popper Karl, *El mito del marco común*, Editorial Paidós, Bs. Aires, 1997.
- Rozental S. (editor), *Niels Bohr: His life and work as seen by his friends and colleagues*, North-Holland Publishing Company, 2nd printing, 1968.
- Schwartzmann Felix, *Historia del universo y conciencia*, Ediciones LOM, 1ª edición, Santiago, 2000.
- Taylor A. E., *A commentary on Plato's Timaeus*, Oxford University Press, 1962.
- Velásquez Oscar, *Reflexiones sobre El Timeo de Platón*, Documentos Universidad Católica de Chile, Santiago, 1978.
- Waldo L. Mazzalomo, *Causalidad y orden en la explicación científica*, Philosophia, N° 44, 1983, p. 19-34.
- Weisskopf Víctor, *La física en el siglo XX*, Editorial Alianza Universidad, Madrid, 1990.
- Whitaker Andrew, *Einstein, Bohr and the Quantum Dilemma*, Cambridge University Press, 1996.
- Wilber Ken (editor), *Cuestiones cuánticas*, Editorial Kairós, 5ª edición, Barcelona, 1998.