

# HUMANITAS

ANUARIO DEL CENTRO DE ESTUDIOS HUMANISTICOS

23



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

1990



hallarse —también con razón— más bien en la zona del saber científico, es de justicia hacer notar ahora que por la habitual autorregulación providencial de las situaciones históricas, es precisamente en esta época de ultraespecialismo que nos toca vivir, donde florecen hoy grandes nombres que, habiendo acelerado casi hasta lo increíble el desarrollo del saber científico, ahora, en la madurez de sus vidas, se vuelven hacia la cultura “clásica”, hacia aquel cauce que siempre le ha servido al hombre para volcar en él su espiritualidad; y la hacen, nuevamente, el troquel en el cual acabar por conformar lo científico en lo humano. Es así que ya no nos sorprenden las incursiones de científicos de primera agua en campos que no son los de su “especialidad”; y cuando esta apertura lo es hacia lo filosófico —y aún a lo teológico— es sencillo caer en la cuenta de que se trata siempre de escapar a la angostura del “especialismo”, para lograr una visión panorámica que permita injertar armoniosamente: lo específico en lo genérico, lo “especialmente” alcanzado en lo clásicamente “sabido”. Citar al caso los nombres de Planck, Einstein, de Broglie, Bohr, Jordan, Schrödinger, Nedawar, Monod, Jacob, Von Weizsäcker, etc., es ya moneda corriente. Y todos se muestran acuciados por esa inquietante situación que tan bien retrata von Weizsäcker al decir que “la situación actual es más rica en saberes positivos que la anterior, pero más pobre en unidad interior”<sup>1</sup>

Pues bien: de entre tan ilustre familia de sabios queremos ahora referirnos con algún detalle a uno de ellos, y cuyo nombre hemos diferido hasta aquí: aludimos a Werner Karl Heisenberg, creador de la mecánica cuántica, Premio Nobel de Física para 1932, y recientemente fallecido (1 de febrero de 1976) a los 75 años. No nos detendremos hoy en sus notables valores científicos sino que nuestro cometido se circunscribirá a mostrar su decidida y sostenida apertura hacia lo trans-físico; hacia aquella faceta de la realidad que su física no podía darle pero que, no obstante, su espíritu le reclamaba como fundamento último de cuanto científicamente conocía.<sup>2</sup>

Hablaremos, pues, del Heisenberg filósofo. Y para no disiparnos en vaguedades o ditirambos, centraremos nuestra exposición bajo dos acápites fundamentales: su recurrencia a motivos clásicos del filosofar como fundamento de su explicación profunda de la estructura de la materia; y en segundo lugar, las repercusiones filosóficas de su “principio de incertidumbre”.

<sup>1</sup> Carl F. Von Weizsäcker, *La imagen física del mundo*, trad. castellana, BCA, Madrid, 1974, p. 3.

<sup>2</sup> Una bibliografía completa de las publicaciones de Heisenberg puede hallarse en el volumen de homenaje: *Danken und Umdenken. Zu Werk und Wirkung von Werner Heisenberg*, herausg. von Heinrich Pfeiffer, Piper Verlag, München, 1977.

Tal como el mismo Heisenberg lo relata autobiográficamente en sus obras: “La imagen de la naturaleza en la física actual”, y “Diálogos sobre física atómica”, fueron sus estudios clásicos del secundario los que lo impulsaron finalmente hacia el estudio de las ciencias físicas a través de esos detalles casi imponderable que, en definitiva, son los que nos suelen ir llevando en nuestro complejo vivir: un manual de ciencias ilustrado con átomos absurdamente provistos de ganchos y anillos como para representar las uniones químicas; la lectura de Platón, con sus cuerpos elementales; su padre, profesor de filología en la Universidad de München, situación que lo acerca a un célebre matemático de entonces: Lindemann, y a un gran físico: Sommerfeld. El primero, un purista de la matemática que lo declara sumariamente “caso perdido” al joven Heisenberg, porque ha estudiado una obra de Hermann Weyl; el segundo, benévolo consejero que lo recibe y conquista para la física teórica.

Y ya aquí, en esta temprana etapa de su vida, es necesario reparar en dos detalles, que darán al cabo sus frutos: el joven bachiller, que perfeccionaba su griego con el *Timeo* de Platón, estaba ganando, tal vez sin darse cuenta cabal, por las concepciones geométricas que allí pudo hallar, por un lado; por otro, ya desde su primera entrevista con Sommerfeld, a la indicación de éste en el sentido que debía comenzar sus estudios por lo simple y pequeño, dejando de lado momentáneamente las grandes especulaciones filosóficas, responderá decididamente: “Pero a mí las cuestiones filosóficas del trasfondo me interesan quizá aún más que las pequeñas tareas particulares”.<sup>3</sup>

Platón, pues, y un sostenido interés por lo meta-físico (en sentido general) estarán siempre en el trasfondo de su fructífera y brillante carrera de físico, y que lo llevará al Premio Nobel de 1932. Época para la cual la física conocía suficientemente la intimidad del átomo como para que Heisenberg pudiera desechar decididamente una herencia democrítea, que ya nada podía aportar, y reparará, más bien, en Platón:

“Hasta entonces habíamos venido creyendo en la antigua concepción de Demócrito, que se puede resumir con esta frase: “En el principio era el átomo”. Se suponía que la materia visible estaba integrada por pequeñas unidades y, si la vamos dividiendo una y otra vez, llegamos, por último, a las unidades mínimas, que Demócrito llama átomos, y que ahora se llamarían “partículas elementales”; por ejemplo: “protones” y “electrones”. Pero acaso toda esta filosofía era falsa. Tal vez no existían

<sup>3</sup> W. Heisenberg, *Diálogos sobre física atómica*, trad. castellana, BAC, Madrid, 1975, p. 24.

pequeñísimas piezas o "ladrillos" susceptibles de ulterior división. Quizá se podía dividir aún más la materia; pero, llegados a un límite, ya no se darían propiamente más divisiones, sino la transformación de la materia en energía y el que las partes no sean ya más pequeñas que lo partido. Pero, ¿qué es lo que había en el principio? ¿Una ley de la naturaleza, una razón matemática, una simetría? "En el principio era la simetría". Esto tenía resonancia de la filosofía platónica del *Timeo*, por lo que me vinieron otra vez a la memoria las lecturas que hice en (...) el verano de 1919".<sup>4</sup>

Esto lo dice Heisenberg hacia 1933. Pero las resonancias de que allí se habla se concretan en el período que va desde 1933 a 1958, fecha ésta en que la recurrencia explícita a la geometrización de los "cuatro elementos" que hace Platón, le lleva a una afirmación osada:

"El descubrimiento de Planck contiene la demostración de que la estructura atómica de la materia puede concebirse como expresión de imágenes matemáticas ínsitas en las leyes naturales (...) de este modo volvió a introducirse en las ciencias naturales el pensamiento de Platón, que atribuye la estructura atómica, en definitiva, a una simetría matemática".<sup>5</sup>

En efecto, la atribución que en su diálogo *Timeo* (55 d ss.) hace Platón de un cuerpo geométrico regular a cada elemento: el tetraedro al fuego, el octaedro al aire, el icosaedro al agua, y el hexaedro a la tierra, en secuencia de estabilidad mecánica creciente, le atrae a Heisenberg no tanto en su significación directa y como si los elementos últimos de la realidad fueran determinados cuerpos geométricos sino, en última instancia, por la matematización que ellos comportaban:

"La teoría definitiva de la materia se caracterizará de modo semejante a la de Platón, por una serie de postulados de simetría fundamentales. Estas simetrías no podrán expresarse, simplemente, por figuras e imágenes, tal como era posible en tiempos de Platón, sino por ecuaciones".<sup>6</sup>

Esto fue expuesto ante la Sociedad de Físicos Alemanes; en los conocidos "Encuentros Internacionales de Ginebra", en el mismo año 1958,

<sup>4</sup> *Diálogos...*, p. 166-167.

<sup>5</sup> W. Heisenberg, *Más allá de la física*, trad. castellana, BCA, Madrid, 1974, p. 23 y 16.

<sup>6</sup> *Más allá...*, p. 32.

refiriéndose ya más ampliamente a la búsqueda "ley fundamental de la naturaleza", dirá que

"la respuesta definitiva estará más próxima a la concepción filosófica tal como fue expuesta en el *Timeo* de Platón, que a la de los antiguos materialistas";<sup>7</sup>

refiriéndose, con la mención de los materialistas, a Demócrito, a quien desecha nuevamente cuando habla de sus átomos:

"Las partículas elementales de la física actual se encuentran mucho más emparentadas con los cuerpos platónicos que con los átomos de Demócrito (...). Para la moderna ciencia natural, en el principio se encuentra no la cosa material sino la forma, la simetría matemática".<sup>8</sup>

De este modo, continúa atrayendo a Heisenberg el trasfondo matemático de Platón y, por consiguiente, la trascendencia que ello marca con respecto a lo físico-experimentable; con relación a la materia sensible,

"Los átomos, según Platón —dice en una conferencia de 1964— no eran, propiamente, materia: eran considerados como formas geométricas, como los cuerpos regulares de los matemáticos (...) eran, en cierto modo, las ideas, que sirven de fundamento a la estructura de la materia y caracterizan el comportamiento físico de los elementos que a ellas corresponden".<sup>9</sup>

No se trata de tomar a Platón y repetirlo, porque, al cabo,

"Las simetrías de Platón no eran las apropiadas; pero Platón tenía razón al creer, al fin de cuentas, que en el centro de la naturaleza, en el seno de las unidades últimas de la materia, se hallan simetrías matemáticas".<sup>10</sup>

Pues, en efecto,

"Las unidades mínimas de la materia nos son objetos físicos, en el sentido ordinario de la palabra: son formas, estructuras o ideas —en el sentido de Platón— de las que sólo puede hablarse sin equívoco con el lenguaje matemático".<sup>11</sup>

<sup>7</sup> W. Heisenberg, "El descubrimiento de Plack y los problemas filosóficos de la física atómica", en *El hombre y el átomo. Rencontres Internacionales de Geneve 1958*, trad. castellana, Guadarrama, Madrid, 1959, p. 99.

<sup>8</sup> "El descubrimiento de Plank...", p. 99.

<sup>9</sup> *Más allá...*, p. 174-175.

<sup>10</sup> *Más allá...*, p. 183.

<sup>11</sup> *Más allá...*, p. 182.

Y en los que podemos considerar momentos de la máxima madurez de su pensamiento —a mediados de la década del 60— aclara:

“Las partículas elementales pueden compararse con los cuerpos regulares del *Timeo*: son los prototipos, las ideas de la materia”<sup>12</sup>.

Ahora bien: como se recordará, los mentados cuerpos regulares de Platón se descomponían, según este filósofo, en triángulos —rectángulos isósceles para el cubo, y escalenos para los demás cuerpos—; los cuales, a su vez, podrían ser descompuestos en triángulos aún más elementales. Pero en llevándolo al extremo el principio fundamentalísimo de la realidad física, acepta Heisenberg pasar allende todo triángulo —a pesar de estar ya con ellos fuera de toda materia— llegando, como dice,

“a una estructura de nuestro pensamiento mucho más fundamental que el triángulo”<sup>13</sup>.

Es altamente llamativo este reclamo hacia un más allá de los triángulos; en el cual reclamo vuelven a coincidir Heisenberg y Platón: éste, con su apelación decidida a la divinidad; Heisenberg, por motivos de método, buscando una razón matemática. Para Platón:

“En cuanto a los principios superiores (a los triángulos), sólo Dios los conoce y, entre los hombres, el que sea amigo de Dios”<sup>14</sup>.

Para Heisenberg:

“Si queremos acercarnos al “uno” con los conceptos de un lenguaje científico preciso, debemos tener presente el centro de las ciencias naturales descrito por Platón, en el que se hallan las simetrías fundamentales matemáticas. En el modo de pensar de este lenguaje es necesario aceptar la afirmación: “Dios es matemático”, pues voluntariamente se ha restringido la mirada sobre el área del ser que puede ser comprendido en el sentido matemático del verbo “comprender”, y que puede describirse racionalmente”<sup>15</sup>.

Vale decir que en punto a la estructura de las partículas elementales, se ha decidido Heisenberg al extremo tal por Platón que ambos, tras la profundización cabal de sus propios modos de pensar y sus metodologías, han

<sup>12</sup> *Diálogos...*, p. 297.

<sup>13</sup> *Diálogos...*, p. 303.

<sup>14</sup> Platón, *Timeo*, 53 d.

<sup>15</sup> *Más allá...*, p. 187.

alcanzado a Dios cual justificación final e inapelable de toda realidad. Esto es algo para meditado.

Hasta aquí, pues, nos hemos restringido a exponer cuánto deben al pensamiento de Platón la lucubraciones de Heisenberg; más, paralelamente a esta línea de exposición se puede constatar muy fácilmente la declarada influencia que ha tenido Aristóteles en su pensamiento, y en un sentido claramente complementario. Existe aquí — y valga el paralelismo— una suerte de “principio de complementariedad” entre ambas influencias. En efecto: así como hasta ahora ha aparecido Platón con exclusividad, y en tanto hemos ido revisando el pensamiento de Heisenberg en cuanto se refiere a los elementos últimos de la realidad material considerados desde el aspecto corpuscular, así aparecerá Aristóteles cuando del aspecto ondulatorio de esa misma realidad se trata. A primera vista esto parece bastante incongruente puesto que, en todo caso, el realismo aristotélico es más aproximable a un estudio de corpúsculos —más densamente físicos éstos— que a uno de ondas y probabilidades, entidades estas más definitivamente matemáticas. El tema merecería un estudio aparte. Mientras tanto, veamos cómo se las arregla con Aristóteles el genio de Heisenberg.

Aristóteles entra, decididamente en el horizonte filosófico de Heisenberg en una serie de conferencias pronunciadas en 1955 y recogidas posteriormente en un libro que titulara sugestivamente “Física y filosofía”, y en el cual se trasluce paladinamente cuán atractiva le resultaba la noción aristotélica de “potencia”. Como se sabe, Aristóteles, en polémica con Parménides, para quien entre *ser* y *no-ser* no cabía tonalidad alguna, insistirá en la analogía de la noción de “ser”. Para Aristóteles, *ser* no es un concepto único y clauso, sino un concepto que se aplica *proporcionalmente* a los diversos modos en que el “ser” se presenta; y el aparentemente férreo dilema de Parménides: “El ser es, el no-ser no es”, se resuelve admitiendo que “ser” se dice tanto del ser “en potencia” cuanto del ser “en acto”: lo que puede llegar a ser algo en concreto, ya es en algún sentido (precisamente: en sentido potencial) ese algo.

Así las cosas, Heisenberg apelará a Aristóteles por primera vez al encarar el problema, central para la física cuántica, de las ondas de probabilidad que aparecen como compromiso entre la imagen corpuscular y la imagen ondulatoria de la materia. En 1924 publican Bohr, Kramers y Slater un trabajo en el cual proponen el concepto de “onda de probabilidad”; comenta Heisenberg:

“La onda de probabilidad de Bohr, Kramers y Slater significaba más que una mera probabilidad: comportaba una tendencia hacia algo. Era una versión cuantitativa del viejo concepto de *Potentiade* la filosofía de

Aristóteles. Introduce algo situado a mitad del camino entre la idea de un acontecimiento y el acontecimiento real, una rara clase de realidad física a igual distancia de la posibilidad y de la realidad<sup>16</sup>.

Esta relación entre "posibilidad" y "realidad" quedará aún más clara en otro paso, cuando afirma que

"la transición entre lo "posible" a lo que está "en acto", se produce en el momento de la observación (...) porque el término "sucede" sólo puede aplicarse a la observación, no al estado de cosas entre dos observaciones. (...) y podemos decir que la transición entre la "potencia" y el "acto" tiene lugar tan pronto como se produce la interacción entre el objeto y el instrumento de medida y, con ello, el resto del mundo"<sup>17</sup>.

Mientras no acontece tal interacción entre objeto e instrumento, el objeto "no existe en acto" para el físico; pero, mientras tanto, tampoco es una mera nada: posee una existencia "potencial", es una tendencia "hacia el acto", "va hacia" el momento de su efectiva aparición dinámica, hacia su manifestación "aquí y ahora". Y aun cuando todo ello debe expresarse en función de probabilidad, esta función

"contiene afirmaciones acerca de posibilidades, o mejor dicho: tendencias (la *potencia*, en la filosofía de Aristóteles), y estas afirmaciones son completamente objetivas y no dependen de ningún observador; y contiene afirmaciones acerca de nuestro conocimiento del sistema, las que, naturalmente, son subjetivas en la medida en que difieren según el observador"<sup>18</sup>.

Significativo paso, donde se ve hasta qué punto es importante la "potencialidad", al ver declararla "objetiva", al menos en cuanto opuesta a la subjetividad que marca la presencia apreciativa del observador.

Todavía más: por cuanto

"Si uno desea dar una descripción precisa de la partícula elemental —y el énfasis está en la palabra "precisa"— lo único que puede dar como descripción es una función de probabilidad, y entonces se ve que ni la cualidad de ser (si esto puede llamarse una "cualidad") pertenece a la partícula: ésta es una posibilidad de ser, una tendencia de ser"<sup>19</sup>.

<sup>16</sup> W. Heisenberg, *Física y filosofía*, trad. castellana, La Isla, Buenos Aires, 1959, p. 27.

<sup>17</sup> *Física y filosofía*, p. 39.

<sup>18</sup> *Física y filosofía*, p. 37-38.

<sup>19</sup> *Física y filosofía*, p. 52.

Repárese con cuidado en que esta "posibilidad" de ser no es mera "posibilidad" en el sentido en que se trata de algo que no es "imposible"; que no envuelve contradicción: se trata de una "posibilidad tendenciosa" al acto, justamente del *δυναμει ον*, de Aristóteles. En éste era la *potencia* el principio responsable del cambio en los seres naturales; en Heisenberg es también un principio regulador, pues

"no es el hecho en sí sino la posibilidad de que ocurra —la potencia, que diría Aristóteles— lo que está estrechamente sometido a rígidas leyes naturales"<sup>20</sup>.

¡Nada menos! El paso dado aquí por Heisenberg es audaz, pero genial y justificado si no se pierde de vista su interpretación inicial de la onda de probabilidad, y la necesaria recurrencia a ella en la física cuántica.

Un último ejemplo del uso de la "potencia" por Heisenberg: tan está él convencido del valor de esta noción, que no vacila en introducirla hasta el corazón mismo de la nueva metodología en la interpretación de las experiencias cuánticas:

"La interpretación teórica de un experimento requiere tres etapas distintas: 1° la traducción de la situación experimental inicial en una función de probabilidad; 2° seguir esta función en el curso del tiempo; 3° el establecimiento de una nueva medición que habrá de hacerse, cuyo resultado puede ser calculado mediante aquella función. Para el primer paso, es condición necesaria el cumplimiento de las relaciones de incertidumbre; el segundo paso puede ser descrito mediante conceptos clásicos; (...) sólo en el tercer paso volvemos de lo que está "en potencia" a lo que está "en acto"<sup>21</sup>.

#### EL PRINCIPIO DE INCERTIDUMBRE

Hemos mostrado, un tanto rápidamente, a Heisenberg en su relación con dos pensadores clásicos, por él rescatados para la actual física; y oscilando sabiamente, sin decidirse exclusivamente por ninguno de ellos pero convencido

"de que sólo un verdadero conservador puede ser un verdadero revolucionario. Sólo quien ama la tradición y conoce su fuerza puede

<sup>20</sup> Más allá..., p. 21.

<sup>21</sup> *Física y Filosofía*, p. 32.

sufrir tanto bajo sus puntos flacos como para ser capaz de hallar una brecha real hacia lo nuevo.<sup>22</sup>

Y conste que no dejamos en el tintero sus referencias precisas a otros filósofos, tales como Heráclito, Kant o Descartes.

Pasemos ahora al segundo punto de los prometidos, el cual mostrará, en cierto sentido, el camino inverso: la repercusión, ahora, del pensamiento de Heisenberg en la filosofía. Nos referimos al tema de la causalidad, representado concretamente por su "principio de incertidumbre" o "de indeterminación", como también se lo denomina. Denominación que sacada de su contexto —tal como le ha acontecido a la relatividad— ha llevado, por obra de divulgadores que no han entendido de la misa ni la media, a las afirmaciones más disparatadas, muy concretamente en lo que respecta a su pretendida relación con la libertad; a tal extremo llegó esto que el mismo Heisenberg se vió obligado a aclarar, preguntado en una reunión de nivel internacional —los "Encuentros Internacionales de Ginebra", de 1958— que

"El problema de la relación entre la indeterminación y la libertad ha sido tratado, sobre todo en la prensa, de un modo demasiado impreciso y superficial. No se puede decir que el principio de indeterminación en física no se refiere sino a la física"<sup>23</sup>.

Hoy puede parecer risueño tener que acudir a esta aclaración; pero para entonces hasta algún sesudo científico desatinó acerca de la "libertad" de las partículas elementales.

Veamos, pues, de qué se trata.

La física clásica galileo-newtoniana descansó segura en el riguroso determinismo que le proporcionaba el tratamiento matemático de los fenómenos; en ella, dado un sistema físico, se podía predecir, conociendo su estado inicial y las fuerzas actuantes, el futuro comportamiento del sistema y con una precisión del mismo orden, al menos, con que se conocía aquel estado inicial. Según la mecánica clásica, conocidas en un instante dado las coordenadas de posición de un cuerpo en el espacio, y las correspondientes al impulso, se podía fijar exactamente el comportamiento dinámico del cuerpo. Existía así una amplia confianza en la ininterrumpida concatenación de causa a efecto; y el "natura non facit saltus" era un principio hecho carne en la mentalidad del físico clásico. Pero ese principio de continuidad acabó por desmoronarse por obra y gracia del descubrimiento más revolucionario de la física contemporánea: la cuantificación de la energía, descubierta por Max Planck

<sup>22</sup> Carl. F. Von Weizsacker, "Warner Heisenberg-Discurso en su memoria", en Universitas, ed. española, 1976, XIV, 117.

<sup>23</sup> "El descubrimiento de Planck...", p. 102 y 116.

a las puertas mismas de nuestro siglo; cuantificación que marcaba definitivamente el carácter discontinuo de los procesos energéticos. No haremos en detalle la historia de este descubrimiento; baste al caso decir que esta absorción o emisión de energía "por saltos" y no en forma continua, como se había aceptado hasta entonces, dio lugar a una imagen del mundo físico tan increíble que el mismo Planck vaciló largo tiempo en llevar hasta sus últimas consecuencias su idea primera; y en realidad fueron ciertas experiencias e interpretación de las mismas por obra de Einstein, las que decidieron la cuestión.

Esta cuantificación energética trajo como consecuencia un ataque formalmente diferente de los procesos físicos. La física clásica había reconocido el carácter discontinuo de la materia; por ejemplo, sabía que en una gota de un líquido o en un cristal de un sólido, existía una enorme catidad de pequeñísimas partículas denominadas moléculas, átomos, iones, etc.; y precisamente, de la imposibilidad práctica de describir el estado dinámico de un sistema tan complejo nace la mecánica estadística clásica, la cual consideraba que todas y cada una de aquellas numerosas partículas cumple con las leyes newtonianas del movimiento, y sólo es necesario apelar al cálculo de probabilidades por una imposibilidad *de facto* de tener en cuenta el movimiento de cada una de las partículas individualmente consideradas. Vale decir que aceptar esta necesidad no significaba una renuncia al cumplimiento riguroso de las leyes mecánicas que regulaban las partículas: es sólo la complejidad práctica la que obliga al uso de ese tipo de cálculo, y no la ignorancia de la causa actuante y de su modo de hacerlo. Todo aparecía regulado por las conocidas palabras de Laplace:

"Debemos, pues, considerar el estado presente del universo como el efecto de su estado anterior y como la causa del que debe seguirle. Una inteligencia que en un instante dado conociera todas las fuerzas que animan a la naturaleza y la situación respectiva de los seres que la componen y que, por otra parte, fuera suficientemente amplia como para someter estos datos al análisis, abarcaría en la misma fórmula los movimientos de los cuerpos más grandes del universo y los de los átomos más ligeros; nada le sería incierto y tanto el futuro como el pasado estarían presentes delante de ella."<sup>24</sup>

Es este paso una perfecta ilustración de la mentalidad del físico-matemático precuantista, legislándolo todo por un riguroso determinismo válido aún cuando las limitaciones actuales sólo pueden comprobarlo a través del cálculo

<sup>24</sup> Pierre Simon Laplace, Ensayo filosófico sobre las probabilidades, trad. castellana, Espasa-Calpe, Buenos Aires, 1974, p. 13.

de probabilidades. En otras palabras: lo que viene a decir la física clásica es que siempre resulta posible, al menos teóricamente y con un simple recurso a la matemática, reducir a cero todo error en las mediciones de las coordenadas de posición y de impulso, que son las que condicionan el conocimiento del sistema:

$$\Delta p \cdot \Delta q = 0 \quad (I)$$

Que ello no ocurra en la práctica, se debe sólo al defecto del sistema o instrumento de medición el cual, pudiendo ser teóricamente perfeccionado sin límites, hace que el cálculo de probabilidades se convierta en un recurso accidental y provisorio. Pero no es este el caso en la física cuántica: aquí la recurrencia al cálculo probabilístico es *esencial y definitiva*. Nada puede decirse en ella que no se diga en términos de probabilidad, como debe haber quedado claro, de paso, por los textos leídos en la primera parte de nuestra exposición. Aquí ya no tiene cabida la posibilidad de la super-inteligencia postulada por Laplace, pues la física cuántica lo que niega es no una imposibilidad *práctica* de conocer exactamente, sino que afirma la imposibilidad *teórica* de hacerlo. En la estadística clásica la imprecisión se aplica al estado final del sistema, mientras que en el cálculo estadístico cuántico abarca tanto el estado final cuanto el inicial, ambos como rodeados por una nebulosa que sólo permite afirmar que en su interior está y se mueve la partícula considerada, pero sin poder precisar en qué punto está, o bien cómo se mueve.

Tema es este tan amplio y fundamental que por razones de espacio lo circunscribiremos a Heisenberg y su famoso artículo de 1927<sup>25</sup>. En el mismo llega, luego de fundamentarla científicamente, a una expresión semejante a la anterior (I), pero con una modificación esencial, pues ahora valdrá:

$$\Delta q \cdot \Delta p \geq \frac{h}{2\pi} \quad (II)$$

Esto significa que el producto de los errores cometidos en la fijación del impulso y de la posición de una partícula no puede ser cero, como quería la física clásica, sino un cierto valor fijo, como que son fijos  $h$  (la constante de Planck =  $6,55 \times 10^{-27}$  erg.seg), y  $\pi$ . El análisis intrínseco de esa relación (II) ya muestra la imposibilidad de precisar exactamente los valores de las coordenadas en juego; en efecto, si suponemos plenamente definida la coordenada de posición, es decir: si  $\Delta p \rightarrow 0$ , deberá entonces verificarse  $\Delta q \rightarrow \infty$ ; lo que

<sup>25</sup> W. Heisenberg, "Ueber den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik", en *Zeitschrift für Physik*, 1927, 43, 172.

significa que el valor del momento será completamente desconocido; y viceversa. Ahora bien: ¿cuál es la contrapartida física de este ejemplo matemático? Veámoslo con una experiencia ideal, propuesta por el mismo Heisenberg: Supongamos que con un microscopio suficientemente poderoso y operando en condiciones ideales, pudiéramos observar un electrón; para verlo y fijar su posición, será menester iluminarlo y con luz de muy corta longitud de onda (rayos gamma). Pero la disminución de longitud de onda significa aumento de frecuencia o, lo que es equivalente, aumento de energía. Como consecuencia, pues, de esta iluminación con rayos gamma el electrón sufrirá, por efecto Compton, un impacto suficientemente poderoso como para desviarlo notablemente, haciendo imposible conocer exactamente su trayectoria. Si se aumenta la longitud de onda como para no afectar el movimiento del electrón, ya no podremos observar su posición con exactitud. Se han aducido otros ejemplos al caso, pero todos concluyen en que existe, por el modo mismo necesario de operar, una interacción entre el sistema en observación y el observador, que termina por provocar en el sistema una perturbación esencialmente imposible de evitar y aún de valorar adecuadamente. Aparece una incertidumbre o indeterminación en cuanto respecta al conocimiento riguroso que puede lograrse de una partícula subatómica en su trayectoria y dinamicidad: "lo que acontece", el modo de presentarse o de "ser", simplemente, una partícula para el físico, no es independiente de éste y de su instrumento; y "lo que se observa" no es sino el resultado de la interacción entre las dos entidades físicas que son el corpúsculo y el instrumento.

Hasta ahora no hemos salido de los dominios de la física. Pero en el mismo artículo citado, luego de exponer Heisenberg los resultados experimentales y sus explicaciones físicas, incursiona en el terreno filosófico con las siguientes palabras:

"Si se admite como correcta, al menos en sus puntos esenciales, la explicación de la mecánica cuántica aquí intentada, debiera ser permitido concluir en pocas palabras sus principales consecuencias. No hemos supuesto que la teoría cuántica, en contraposición con la teoría clásica, sea esencialmente una teoría estadística en el sentido que de datos exactamente dados sólo pueden sacarse consecuencias estadísticas (...) Pero en la formulación precisa de la ley de causalidad: "Cuando conocemos suficientemente el presente, podemos calcular el futuro", no es falsa la consecuencia sino la premisa. En principio no podemos conocer el presente en todos sus mínimos detalles. Por ello toda observación es una selección entre una multitud de posibilidades y una restricción del futuro posible. En consecuencia, el carácter estadístico de la teoría cuántica está ligado a la imprecisión de toda observación que uno podría sentirse inducido a suponer la existencia, detrás del mundo estadístico percibido, de un mundo "real", donde rigiera la ley

de causalidad; pero tal especulación nos parece, insistimos, estéril y sin sentido. La física no debe sino describir formalmente relaciones de observaciones; más aún: se puede caracterizar mucho mejor el estado de cosas así: puesto que todos los experimentos caen bajo leyes de la mecánica cuántica, y por ello de la igualdad (II), así se constata definitivamente, por medio de la mecánica cuántica, la invalidez de la ley de causalidad<sup>26</sup>.

Texto es este que se las trae, pues en pocas líneas nos lleva desde una solicitud de admisión de conclusiones físico-matemáticas, a la invalidez de la ley de causalidad. Una elemental medida de precaución aconseja, antes de pasar más allá, aclarar los principales conceptos en juego. He aquí, como lo decíamos al incoar este tema, un ejemplo muy claro de la repercusión que en la filosofía puede tener el desarrollo de la ciencia. Aceptado el diálogo, veamos cuál es el sentido preciso de lo que Heisenberg llama la *Kausalgesetz*, la ley de causalidad.

Y en primer lugar, el término *causa*. Término que debe entenderse en toda su amplia significación y generalidad de "principio de ser del cual depende realmente de alguna manera la existencia de un ente contingente"; vale decir, de todo ente al cual no le es esencial la existencia, sino que le es dada. Causa es, pues, "una realidad que ejerce su influjo sobre la existencia y sobre el modo de ser de otra realidad."<sup>27</sup> Esta contingencia del ser, proclamada con justicia por la metafísica tradicional, halla su repercusión física cuando se considera en profundidad y amplitud la realidad natural; porque justamente cuanto más y mejor conocemos esta realidad, más y mejor caemos en la cuenta que es tal interrelación entre los seres que, como dice un autor, "para explicar un ser particular es preciso dar la explicación de todo el orden de los seres"<sup>28</sup>.

Y esto, porque es tal el orden interactivo de los seres naturales, que cada uno puede ser considerado el cruce de todas las líneas relacionantes del resto del universo. Dicho en otros términos: cada ser natural resulta como a modo de un resumen del cosmos; cada ente es una suerte de microcosmos desde el cual todo el cosmos puede ser recorrido, y hacia el cual todo el cosmos conduce.

Pues bien: esta imposibilidad científica y filosófica de dar razón del ser y del obrar de cada uno de los seres cósmicos es lo que acaba por hacer a cada uno de ellos una realidad *dependiente*, esencialmente dependiente: una realidad contingente y necesitante de otra. Considerado ahora el cosmos como la totalidad de lo existente —que es lo mismo que decir: la totalidad de lo contingente— se llega perentoriamente al sentido más profundo y propio

<sup>26</sup> "Ueber...", p. 181.

<sup>27</sup> L. de Raeymaeker, filosofía del ser. trad. castellana. Gredos, Madrid, 1956, p. 367, nota 1.

<sup>28</sup> Raeymaeker, o.c., p. 366.

de *causa* cual causa absolutamente primera del ser y del obrar de todo ente que ya hemos descubierto como dependiente o contingente.

En efecto: una vez explicado el conjunto de los seres en base a una relación interdinámica esencial, expresable en función de una relación de causa a efecto en cada caso en concreto, se arriba a un conocimiento interno del cosmos que es, en última instancia, relativo en tanto lo son las relaciones causales establecidas, puesto que lo que es efecto en una determinada circunstancia, será causa en otra; y viceversa.

La causalidad se presenta de este modo como recíproca y circular y el universo, cerrado sobre sí mismo, queda, como totalidad, sin explicación. Se tiene, sí, un sistema explicado en su marcha, pero no en su origen, pues siempre, frente a la más amplia legalización que se quiera o se pretenda en este cosmos, ante toda concepción científico coherente del ser y hacer de este cosmos, quedará, como aspiración *final incumplida*, la *pregunta por su origen*. La explicación interna causal lleva, tal cual lo hemos dicho, a la concepción de los entes naturales como dependientes recíprocamente; la inquisitoria no ya por sistemas aislados de entes naturales sino por la totalidad de estos entes, lleva necesariamente a un concepto no relativo de *causa*: desemboca en el concepto de *causa incausada* como origen primero y absoluto del ser de los entes cósmicos; apareciendo así, concomitantemente, la noción, también absoluta, de *ente contingente*.

Esto es mucho más que considerar la causalidad como una mera sucesión de fenómenos, donde rige una simple secuencia antecedente-consecuente, sin mayor necesidad ni posibilidad de probar que el consecuente o efecto depende esencialmente, y no accidentalmente, de un antecedente o causa. Para los nominalistas medievales, así como para los modernos empiristas, sólo se trata de admitir aquella sucesión de fenómenos que conduce a la conclusión simplista: "post hoc, ergo propter hoc": después de ello, consiguientemente debido a ello; simplista, decimos, porque como hemos visto, causa se refiere a un orden que supera la inmediata constatación empírica, para enraizar en la más íntima intimidad de toda realidad, transformándose en la *razón de ser de la existencia del efecto*. Y el "post hoc ergo propter hoc" se debe conformar con señalar, más superficialmente, sólo un orden sucesivo.

Hay en la noción de *causa* mucho más que en la de antecedente, pues en la primera hay estricta *necesidad*, como razón que es de la existencia de todo ente contingente, de todos los entes naturales ciertamente. De aquí que pueda formularse un "principio de causalidad" el cual, un tanto paradójicamente, no es sencillo de formular sin caer bajo la acusación de tautología; y esto es explicable, pues cuando de las primerísimas realidades se trate (aquí, del origen del ser) siempre acontecerá así: siempre nos debatiremos entre la primordialidad y simplicidad de lo que queremos expresar, y la complejidad y poquedad de nuestro modo de conceptualizarlo y expresarlo. Habida cuenta

de todo ello, no extrañará que haya más de un modo válido de expresar ese principio de causalidad (de paso, casi todas las fórmulas han sido discutidas); así, "todo efecto tiene una causa"; o "lo que se produce tiene una causa"; o bien "todo ente contingente es causado", etc. En todos los casos se expresa una relación esencial entre aquellos términos; y sin poder darse una prueba directa de la realidad de este principio, pues intentarlo sería caer en un círculo vicioso, ya que precisamente si el principio es absolutamente válido, como se sostiene, toda demostración debería suponerlo: y así acontece. Se trata, pues, de lo que habitualmente se denomina un "principio primero" cuya evidencia surge de la comprensión misma de los términos con los cuales se expresa. Más bien, si se desea, hay que argumentar *a contrario sensu* o por el absurdo, demostrando que negar su realidad equivale a caer en contradicción interna, pues de tal negación se sigue la necesidad de un negador como causa de la negación!

Tal el principio de causalidad. La llamada "Ley de causalidad" no pretende expresar sino la aplicación del "principio" a los procesos de la naturaleza irracional y, más adecuadamente aún, al reino de lo inanimado. Puede formularse así: "Si en un determinado momento se conocen las magnitudes correspondientes a los estados de todas las cosas que toman parte en un proceso natural, su curso ulterior está con ello completamente determinado"<sup>29</sup>; más brevemente dicho: "la misma causa, en idénticas circunstancias, produce el mismo efecto". Si, para nuestro cometido actual, consideramos este enunciado desde lo que puede denominarse "principio de determinismo físico", enunciaremos esa "ley de causalidad" así: "Conocido el estado actual de un sistema de cuerpos y las leyes que lo regulan, siempre es posible, en principio, prever los sucesos futuros que se produzcan en ese sistema". Repárese con cuidado en lo que quiere expresarse aquí, porque esto es crucial para la comprensión del "principio de incertidumbre" de Heisenberg: el "principio de determinismo físico" viene a decir que, puesto que estamos en los dominios de lo puramente material, esto es: de seres desprovistos absolutamente de libertad de acción o de elección, sometidos rigurosamente a una legalidad que en realidad es la que los determina como tales en su ser y obrar, *el conocimiento de esta legalidad equivale al conocimiento total*, ahora y siempre, del sistema: la ley nos dice cómo son y evolucionan en todo instante los seres materiales.

Se trata, es claro, de un determinismo relativo a la existencia y operación de seres sin libertad, y de causa que actúan necesariamente, ciegamente, y donde el efecto logrado —el nuevo estado del sistema— dependerá de la concurrencia de aquellas dichas causas, ocurriendo como una composición de causas, al modo de la conocida composición de fuerzas. Cada causa actúa

<sup>29</sup> Brugger, Diccionario..., s.v. "causalidad, Ley de".

de por sí e indefectiblemente (si no, no sería causa), pero el resultado final dependerá tanto de su actividad como de las actividades concomitantes de las demás causas presentes. Esta es la razón por la cual aun cuando una determinada causa esté presente en sus funciones, el resultado puede no ser el esperado: la causalidad parece haber fallado, pero en realidad lo acontecido es precisamente el resultado de una pluricausalidad.

Estimamos que así entendidos, tanto la causalidad cuanto el "principio de causalidad" deben ser afirmados con anterioridad y prevalentemente a toda conclusión experimental, so pena de no poder decir *nada* de cuanto acontece. Y así como hablamos de una demostración por el absurdo del "principio de causalidad", así podemos hacerlo ahora con el "principio de determinismo", diciendo que, negado, haría necesario otorgar libertad, autodecisión, a las entidades con que opera la física. Sin embargo, recordemos la crítica explícita de Heisenberg a la "ley de causalidad". En el paso que hemos citado a la letra de su artículo de 1927, decía:

"En la formulación precisa de la ley de causalidad: 'Cuando conocemos suficientemente el presente, podemos calcular el futuro', no es falsa la consecuencia sino la premisa".

Pues bien: existe en este texto una clara y fatal imprecisión, ya que la falsedad de la premisa no es tal, pues es cierto que si conociéramos *suficientemente* —y aquí está la cuestión— el presente legalizado, ciegamente operante, de un sistema, podríamos conocer su futuro: recuérdese lo que dijimos supra acerca del sentido y valor del "principio de determinismo físico". Lo que quiere decir Heisenberg, según se sigue de la teoría cuántica toda y del modo de formular su "principio de incertidumbre", es que no podemos conocer exactamente el presente estado total de un sistema; pero esta no afecta el "principio de determinismo físico": en todo caso no sería posible recurrir a lo que denominamos el "principio de previsibilidad" con respecto a la exacta evolución del sistema. Y ello por una incertidumbre en el punto de partida, que ha ejemplificado correctamente, en el terreno de la física, el mismo Heisenberg, como hemos visto; sea en su formulación matemática, sea en su recurrencia al experimento ideal de los rayos gamma y la interacción observador-observado. Pero ir más allá comporta un claro traspaso desde una conclusión física a otra de orden absoluto. ¿Es lícito este traspaso? La respuesta es pertinente, porque recordando otro paso de Heisenberg, donde muy acertadamente dice que

"La física no debe sino describir formalmente relaciones de observaciones",

¿cómo puede él concluir que

“Puesto que todos los experimentos caen bajo las leyes de la mecánica cuántica y por ello de la igualdad (II), se constata así definitivamente, por medio de la mecánica cuántica, la invalidez de la ley de causalidad”?

¿No quedamos en que esta ley de causalidad está más allá de, es anterior a, toda comprobación experimental? ¿No hay una discordia manifiesta entre la clara regla metodológica de “no describir formalmente sino relaciones de observaciones”, y esta condenación de la ley de causalidad? Hay aquí, sin dudas, una abusiva extrapolación de conclusiones. Y sin embargo, Heisenberg tiene razón... Pero lo tiene en un sentido que no le pertenece *de iure*, y que no ha pensado *de facto*, al menos hasta donde lo ha expresado por escrito.

Para demostrar lo que decimos, apelamos a la indulgencia del lector, pues ahora pasamos a una interpretación personal de la fundamentación ontológica del “principio de incertidumbre”. Heisenberg no tiene razón en decir lo que dice con respecto a la “ley de causalidad”; pero existe razón para proclamar un “principio de incertidumbre” con fundamentación ontológica, vale decir: desde lo que es el ser en sí mismo. Veámoslo.

Es evidente que la ciencia ha llegado a dinamizar a tal extremo la realidad física que ya resulta totalmente inaceptable hablar de “materia inerte”: la prueba más “palpable” la constituye, precisamente, la famosa ecuación de Einstein, ligando masa y energía:

$$\Delta E = \Delta m \cdot C^2 \quad (\text{III})$$

Pero esta dinamicidad del ente es algo que está exigido mucho antes que por la ciencia: lo está por la filosofía, por una reflexión absolutamente primordial acerca del concepto mismo de “ser”. Una ontología realista debe proclamar como una necesidad absoluta que “ser y ser dinámico es una misma e inescindible realidad.” Ser es presencia, y presencia es actividad. Un ser que, por absurdo, no poseyera dinamismo, un ser rigurosamente “inerte”, sería una entidad absolutamente incognoscible; porque sólo podemos conocer de las cosas en tanto ellas se nos manifiestan, se pongan en interacción con nosotros; en otros términos más generales: en tanto sean dinámicas. Este dinamismo así concebido, es un constituyente esencial de todo ser, de todo aquello que pueda constituirse en una realidad para nosotros. Y es lo que, a su modo, proclamara ya Aristóteles cuando hizo de la “natura” un principio intrínseco del movimiento y del reposo del ser que, por ello mismo, denominó “natura”, esto es: un principio de espontaneidad de acción y reacción en el ser físico. Tan es esencial contar con esta espontaneidad de “ser”, con esta “natura”, que es lo único que permite, como criterio apreciativo, establecer una escala de “valor de ser”, diciendo que a mayor espontaneidad, a respuesta más variada y compleja, mejor ser, ser más perfecto.

En fin, que siempre habrá dinamismo en habiendo ser, siempre existirá natura, respuesta; la cual, dicho sea de paso, podrá ser tan pequeña y desvaída como se quiera (podrá acercarse asintóticamente a cero), pero nunca será nula. De todo esto se siguen dos consecuencias importantes: en primer lugar, que pudiendo tener esa natura valores sumamente pequeños, podrá acontecer que su “expresividad” sólo se aprecie cuando la “pregunta”, la interacción, pueda llevarse a un alto grado de sutileza o sensibilidad; en segundo término, esa respuesta no podrá ser realmente avasallada, acallada jamás, porque su existencia *es* la existencia misma del ser.

Tiremos ahora el puente hacia la ciencia, pues aquellas dos consecuencias están inmediatamente relacionadas con el tema del indeterminismo o incertidumbre cuánticos, que nos mantiene ocupados desde hace un rato.

¿Cuál es la significación profunda del determinismo clásico, luego de lo dicho en perspectiva ontológica? No otra que suponer la posibilidad, teórica al menos, de fijar desde fuera el estado dinámico de un ente; porque afirmar la completa cognoscibilidad de un ente comporta su estabilización total, su plena inmovilización, en fin; vale tanto como decir que momentáneamente al menos se lo tiene estatizado tras una compulsión que dependería absolutamente de la voluntad del observador: si ello no acontece ahora, lo hará después; todo es cuestión de ingenio y paciencia.

En cambio, la física cuántica vendrá a decir, en buena cuenta, que esto no es posible, ni aun teóricamente; que precisamente es la teoría la que niega esa posibilidad; que hay que perder toda esperanza de lograr, en un futuro, todo fijismo absoluto del ente natural: a éste sólo se lo puede conocer parcialmente, porque tal ente se guarda siempre algo de su intimidad. Y esto es profundamente verdadero pues no es más que un reconocimiento, a la medida de la física, de aquella esencia e indisoluble relación que hemos afirmado a la cabeza de toda interpretación de la realidad: ser y ser dinámico es una misma e inescindible realidad. Claro está que es comprensible intento “fijar”, “detener”, un ente, porque, al cabo, es nuestro modo mismo de conocer lo que nos impele a ello, ya que tanto mejor conocemos algo cuanto más “quieto” e inamovible lo tenemos en tanto ésta siendo estudiado: esto ya lo sabía Platón. Pero todo ello no es sino un amor imposible, una aspiración absolutamente destinada al fracaso, pues si una realidad natural dejara de ser dinámica, dejaría de existir, simplemente; y así, por exceso de celo científico, llegaríamos a destruir, cual Otelos gnoseológicos, eso mismo que amamos. Por consecuencia, la pretensión de la ciencia clásica comportaba, aun sin proponérselo, la posibilidad de aniquilar el objeto mismo que pretendía estudiar, y el reconocimiento de la física cuántica marca un paso decisivo hacia un realismo ontológico que está más allá, es cierto, de la misma física, pero que ésta ha sabido captar, perspicazmente, en sus dominios, precisamente cuando fue capaz de una adecuada sutileza o sensibilidad en la inquisitoria,

también esto de acuerdo con una de las premisas ontológicas que establecimos antes.

En suma, y sea lo que fuere de nuestra crítica, de lo que se trató siempre para Heisenberg fue de llevar originalidad a la física en su mejor y correcto sentido, volviendo, cuando ello era menester, a los orígenes mismos del filosofar; lo cual significó para él una real ruptura de moldes de la física establecida. Se mostró Heisenberg siempre cual un real amante de la verdad, trabajando, en su ámbito, por ella y aceptando su persistencia a través de los siglos. Ello le hizo respetuoso de la tradición real, pero decidido contra las deformaciones posteriores. Y su amor lo fue por una verdad que, a la postre, lo llevó más allá de la física, y de la filosofía, y de toda ciencia, para culminar en una sabiduría. Relata von Weizsäcker que visitándole unos pocos días antes de su muerte, le dijo Heisenberg:

“La física no es ya ahora propiamente tan importante. Esto me maravilla. Los hombres que estaban allí, esos son importantes (...). Lo central: el cristianismo. Si alguien dijera que yo no he sido cristiano, no tendría razón. Por cierto, si alguien dijese que yo he sido cristiano, ése tal vez diría demasiado”<sup>30</sup>

A quien ha dicho:

“leer los griegos significa ejercitarse en el uso de la más poderosa herramienta intelectual que el pensamiento de occidente ha logrado”<sup>31</sup>,

nada mejor que presentarlo mostrando el uso que de ese pensamiento ha hecho. Para quien ha escrito expresamente un libro titulado “Física y filosofía”, demostrando que

“Esta modernísima parte de la ciencia, la física actual, se relaciona en muchos aspectos con muy antiguos problemas desde una nueva dirección”<sup>32</sup>,

nada será más adecuado que analizar, precisamente, sus ideas filosóficas, mostrando coincidencias y disidencias con muy clásicas posiciones ontológicas.

“El libro de la Naturaleza —navia Galileo— está escrito en lengua matemática. Como si dijéramos: el latín de Virgilio está escrito en esperanto. Que no os escandalicen mis palabras. El pisano sabía muy

<sup>30</sup> Carl F. Von Weizsäcker, “Werner Heisenberg—Discurso...”, p. 127.

<sup>31</sup> W. Heisenberg, *la imagen de la naturaleza en la física actual*, trad. castellana. Seix Barral, Barcelona, 1957, p. 58.

<sup>32</sup> Física y filosofía, p. 158.

bien lo que decía. El hablaba a los astrónomos, a los geómetras, a los inventores de máquinas. Nosotros, que hablamos al hombre, también sabemos lo que decimos”.

Nos gusta suponer que Heisenberg sonreiría complacido si nos oyera acabar nuestra exposición con esas profundas palabras del apócrito sofista que fuera Juan de Mairena.

Sección Segunda

LETRAS