

## EL DETERMINISMO COMO PROBLEMA CIENTÍFICO-FILOSÓFICO \*

El problema del determinismo es tan viejo como la historia de la religión, la filosofía y la ciencia humanas. Atraviesa la historia comparada de las religiones con el nombre de predestinación, fatum, kismet -que es el gran antagonista de la vida cristiana en la Providencia divina-. Aparece en la filosofía helénica ya desde sus comienzos y principios: en el poema de Parménides, con el nombre de "krateré Ananke", poderosa necesidad<sup>1</sup>, que se mezcla en la mentalidad griega con el Destino y el Hado: Asia, Heimarmene<sup>2</sup>; y también muy pronto se amalgama con la "physis" y el "Logos"<sup>3</sup>. Si el estoicismo llevó al cabo un sistema ético del determinismo, se puede decir -sin peligro de exagerar- que los griegos han inventado también el determinismo físico, con sus pretensiones de ser científico, especialmente representado en el atomismo de Leucipo, Demócrito, Epicuro, Lucrecio Caro<sup>4</sup>. Casi siempre que fue reanudado un atomismo más o menos determinista, provocó la crítica de una filosofía de la libertad y del espíritu (por ejemplo, en la primera mitad del siglo XII: Bernardo de Clairvaux contra Guillermo de Conches). Aunque en los siglos XVII y XVIII, hombres sabios como Pierre Gassendi y Roger Boscovich intentaron dinamizar y casi "bautizar" el atomismo, las tendencias generales del mecanicismo en la física clásica se inclinaban -al parecer sin remedio- hacia el determinismo global y total, que encontró su formulación más extremada en la famosa "inteligencia de Laplace" : "Une intelligence qui pour un instant donné, connaîtrait toutes les forces dont la nature est animée, et la situation respective des êtres qui la composent, si d'ailleurs elle était assez vaste pour soumettre ces données à l'analyse, embrasserait dans la même formule, les mouvements des plus grands corps de l'univers et ceux du plus léger atome; rien ne serait incertain pour elle, et l'avenir comme le passé, serait présent à ses yeux. L'esprit humain offre dans

---

\* Publicado en *Revista de Filosofía* (CSIC) XXVIII (Madrid 1969) 178-1111.

<sup>1</sup> Parm. B 8, 30; Cfr. A 37; B 10, 6 (DIELS, I, 237, 10; 224, 9; 241, 17).

<sup>2</sup> Herakl. A 8 (DIELS, I, 145, 37); A 5 (I, 145, 16).

<sup>3</sup> Herakl. A, 8 (I, 145, 35) ; LEUK. B 2 (II, 81, 5; DEMONKE. B 181 (II, 181, 13).

<sup>4</sup> DIJKSTERHUIS, Eduard Jan; *Die Mechanisierung des Weltbildes*. Ed. Springer, Berlin-Göttingen-Heidelberg, 1956. 594 p. (Con índice de literatura casi completo.)

la perfection qu'il a su donner á l'astronomie, une faible esquisse de este intelligence"<sup>5</sup>.

La mentalidad en la que fue concebido ese determinismo universal es notoria, y se refleja en la anécdota que se cuenta del famoso encuentro entre Laplace y Napoleón: El emperador preguntó al físico por qué en su sistema no había sitio para Dios, mientras que en el sistema de Newton sí; y la arrogante contestación fue: "Sire, je n'ai pas besoin de cette hypothèse".

Toda la filosofía de Immanuel Kant -y de Fichte y Schelling, en su consecuencia- puede considerarse como un esfuerzo intelectual heroico para liberar al hombre de las garras crueles de ese determinismo físico: Si se restringe su validez al mundo sensible ("Sinnenwelt"), a las apariencias ("Erscheinungen") que se derivan de las categorías del entendimiento humano -y esto es la obra de la "Crítica de la razón pura"-, entonces se abre el acceso al "mundo inteligible" del "Noumenon", del "ser en sí" ("Ding an sich") de la causalidad por *libertad*<sup>6</sup>; y la metafísica moral y la razón pura práctica revelan el "magnífico ideal de un reino de los dioses en sí mismos, de seres razonables que se deciden según máximas de la libertad"<sup>7</sup>.

Pero dejemos el problema filosófico aquí, con estos breves recuerdos históricos, para volvernos hacia la situación totalmente nueva que ha creado la *ciencia física*, en su desarrollo turbulento, desde los principios de este siglo. (En la historia de la ciencia, se suele indicar el año 1900 -con el descubrimiento del quantum de acción por Max Planck- para separar la física anterior, la llamada "clásica", de la nueva física. A veces se oye también la denominación "física moderna"; pero prefiero decir "física nueva", porque se trata de una novedad, y no de una moda.)

El "análisis que abrazaría en la misma fórmula los movimientos de los cuerpos más grandes del universo y los del más ligero átomo", el ideal de Laplace, lo poseemos hoy día con la "fórmula universal" que Werner Heisenberg anunció en Berlín y en Gotinga, en el año 1927, y que explica en su libro "Introducción a la

---

<sup>5</sup> LAPLACE: *Essai philosophique sur les probabilités*, 2ª ed., 1814, págs. 3-4. Reimpreso en: Obras completas, París, 1886, p. VI.

<sup>6</sup> "Möglichkeit der Kausalität durch Freiheit": Kr. d. r. V., A 538-559; S 567-568. "So 'würde denn Freiheit und Natur, jedes in seiner vollständigen Bedeutung, bei eben denselben Handlungen, nachdem man sie mit ihrer intelligibelen oder sensiblen Ursach vergleicht, zugleich und ohne allen Widerstreit allgetroffen werden. (*Kritik der reinen Vernunft*, A1 541, B 569.)

<sup>7</sup> *Grundlegung zur Metaphysik der Sitten* (1785), 127-128

teoría unificadora de campos de las partículas elementales", publicado en 1967<sup>8</sup>. El hecho básico que subyace a esta fórmula. Heisenberg lo describió ya en 1930 -dos años antes de ser galardonado con el premio Nobel con las palabras siguientes (en su libro sobre los principios de la teoría cuántica) : "La descripción espacio-temporal de procesos (scil. microfísicos), por una parte, y la ley causal, en su forma clásica, por otra; son caracteres complementarios del suceder físico, que se excluyen mutuamente. El formalismo de la teoría corresponde a este hecho con la existencia de un esquema matemático de la teoría cuántica, que ya no puede ser interpretado como una vinculación sencilla de objetos colocados en espacio y tiempo"<sup>9</sup>. Existe, por tanto, el esquema siguiente: En la *teoría clásica*: Descripción espacio-temporal y causalidad. En la *teoría cuántica*: O descripción espacio-temporal y *relaciones de indeterminación*, o esquema matemático no espacio-temporal y causalidad<sup>10</sup>.

Antes de poder adelantar en nuestros análisis acerca del problema del determinismo, es menester averiguar el significado real de las *relaciones de indeterminación* o, mejor dicho, *relaciones de complementariedad*, que Werner Heisenberg introdujo ya en 1927<sup>11</sup> como una ley básica de toda la microfísica. Si traducimos el lenguaje de las fórmulas matemáticas al lenguaje hablado, podemos decir: En la microfísica -a saber, la física del átomo, del núcleo y de las partículas elementales- los halos de extensión de los valores de parámetros "canónicamente conyugados" o "complementarios" se relacionan tan estrechamente entre sí, que su producto es igual o mayor que la constante fundamental de Max Planck, el "quantum de acción"  $h$ . Parámetros "canónicamente conyugados" o "complementarios" son pares de valores que se componen de un término que indica una localización espacial o temporal, y de otro término que indica un estado dinámico o energético, y cuyo producto tiene, por tanto, la dimensión física de la "acción" (en alemán: "Wirkung"), que precisamente está definida como una longitud, esto es, una extensión espacial, multiplicada por un "impulso" o una "cantidad de movimiento", que por su parte es el producto "masa multiplicada por velocidad" y representa así un estado dinámico o dinamizado. Por otra parte, la dimensión física de la "acción" se define como el producto de un intervalo de tiempo y el correspondiente valor de

---

<sup>8</sup> HEISENBERG: *Einführung in die einheitliche Feldtheorie der Elementarteilchen*, Ed. Hirzel, Stuttgart, 1967. (Existe edición inglesa simultánea, con el título: "Unified Theory of Elementary Particles".)

<sup>9</sup> HEISENBERG: *Die Physikalischen Prinzipien der Quantentheorie*, Ed. Hirzel, Leipzig, 4., ed. 1955, p. 48.

<sup>10</sup> *Ib.*, p. 49

<sup>11</sup> *Zeitschrift für Physik*, 43 (1927) 172.

energía. Para explicarlo en un ejemplo concreto y numérico: Si una partícula elemental está localizada en un contorno de  $10^{-13}$  cm. (diez elevado a menos trece centímetros) de diámetro, entonces los valores de la cantidad de movimiento que posee en este contorno oscilan en un intervalo de una extensión no menor que  $10^{-14}$  g. cm/seg. (diez elevado a menos catorce gramos de masa, multiplicados por la velocidad: centímetros divididos por segundo), porque el producto da exactamente el orden de magnitud del "quantum de acción" de Planck, que son  $10^{-27}$  cm<sup>2</sup>. g./segundo (o escrito en una fracción decimal: cero coma cero -y siguen veinticinco ceros más...). Desde luego, lo que hemos expresado aquí en un lenguaje objetivo, referido a la realidad misma, con palabras como "halos o zonas de extensión", "contornos de la localización", "intervalos de oscilación", con vistas a posibles mediciones experimentales se hace notar como "márgenes de indeterminación" o de "incertidumbre"; pero lo esencial que expresan las relaciones de Heisenberg es que existe una ley fundamental que rige y determina todos los procesos microfísicos de tal manera que los parámetros complementarios se vinculan mutuamente en una unión dirigida por el "quantum de acción", la constante universal de Planck<sup>12</sup>.

Si volvemos sobre las citas de Heisenberg, que acabamos de mencionar, entendemos ahora mejor que la nueva física y, en particular, la teoría cuántica no toca al principio de la determinación real -o bien por leyes formales, o bien por causas eficientes-, sino que pone en tela de juicio la descripción espacio-temporal. Dicho con otras palabras: No se trata de una "crisis de la causalidad", sino lo que se crítica es la posibilidad de un continuo real y físico que se reemplaza según el pasaje citado de Heisenberg, por un "esquema matemático no espacio-temporal". Hoy día como en la época de Galileo y Newton -el gran siglo XVII, el "siglo de oro" de la física clásica-, ningún físico duda de la determinación por leyes y por causas. Pero

---

<sup>12</sup> Cfr. el artículo de WOLFGANG STROBL: *El principio de complementariedad y su significación científico-filosófica*, en: "Anuario filosófico" de la Universidad de Navarra, Pamplona, 1968, págs. 183-203.

Hay dos tipos de pruebas experimentales en la física actual, los que no he mencionado en el artículo de referencia por falta de espacio y tiempo, capaces de comprobar el significado real -y no sólo intelectual-- de las relaciones de HEISENBERG, llamadas de "indeterminación" o de "incertidumbre", las que mejor se denominan, precisamente por su sentido real y objetivamente "físico" (como entiende XAVIER ZUBIRI este adjetivo), "relaciones de complementariedad real y objetiva". El primer tipo de experimentos es el que demuestra el "efecto túnel" de la física nuclear, previsto y aplicado teóricamente por GEORGE GAMOW: Si el tiempo que tienen a su disposición para nacer las partículas "alfa" en un núcleo de un átomo es muy breve, según las relaciones de HEISENBERG, siempre existe una cierta probabilidad de que puedan salir realmente algunas partículas fuera del núcleo, superando una barrera del potencial energético inalcanzable según los cálculos de la física clásica (newtoniana). El segundo tipo de experimentos que comprueban la validez real y objetiva de las relaciones de HEISENBERG son las mediciones de la "anchura natural" (en inglés: "natural width") de rayas espectrales provocadas por radiaciones emitidas por los átomos. Según la relación de complementariedad, que dice que la anchura de la distribución energética es igual o mayor al quantum de acción de PLANCK, dividido por la duración del proceso microfísico (del "salto cuántico"), se concluye que la anchura de la raya o línea que aparece en un espectroscopio disminuye proporcional a la "vida media" de la reacción atómica. Cuanto más tiempo tiene a su disposición un proceso cuántico, tanto más fina y delgada es la raya espectral que produce: un hecho que se ha demostrado con suma precisión en el efecto MÖSSBAUER.

esta determinación ya no puede exagerarse hasta un determinismo total y universal. Ha venido "el fin de la ilusión de Laplace", como reza el título de un capítulo entero en el importante libro de Milic Capek: *The Philosophical Impact of Contemporary Physics*<sup>13</sup>.

Al analizar textualmente la formulación que Laplace ha dado al determinismo físico, fácilmente se pueden desprender tres momentos decisivos para el mecanicismo físico como trampolín al determinismo: Primero: Un atomismo sustancial: El universo consiste en un conglomerado, un sinnúmero -acaso infinito- de corpúsculos indestructibles, que se conservan eternamente. De lo contrario, no tendría sentido hablar de la "situación respectiva de las cosas que componen la naturaleza", porque en un continuo no hay composición ni situación. Segundo: Un continuo medial: Los corpúsculos se mueven, en trayectorias continuas, a través de los medios vacíos de un espacio continuo e infinito, y de un tiempo continuo e infinito. Es exactamente la oposición entre el "pamplêres on" y el "mê on", el "ser pleno" y el "no ser", ya en Demócrito<sup>14</sup>. Tercero: Un dinamismo cinético: Los átomos no caen al azar -como en la antigüedad; para los griegos "tyje" y "ananke", azar y necesidad se confundieron-, sino que son "animados de fuerzas", y estas fuerzas siguen leyes de determinación estrictas y, por tanto, los movimientos pueden ser sometidos a un análisis matemático diferencial e integral. Este tercer punto es la novedad decisiva que añade la física clásica a la física antigua (en primer lugar, griega), y que presupone una larga historia, que va desde Joanes Philóponos, en el siglo VI, con su "potencia interna" ("dynamis endótheisa" ) , a través de los árabes: al-Fárábi (m. 950), Avicenna (ibn-Siná, 980-1037), y Alpetragius (al-Bitrúgi, ca. 1150-1200), y a través de las Escuelas de París y de Oxford, en el siglo XIV, directamente a Leonardo da Vinci (1452-1579), Galileo Galilei (1564-1642), Pierre Gassend (1592-1655), René Descartes (1596-1650), Gottfried Wilhelm Leibniz, el autor de la "Monadología" y de la "Harmonía praestabilita" y, junto con Newton, inventor del cálculo infinitesimal. Con esto, la física clásica queda establecida.

Ahora bien, es un gran error que se arrastra a través de muchas publicaciones sobre el tema decir que la nueva física habría desmentido el tercer punto del programa de la física clásica, a saber: la determinación de fuerzas dinámicas (hoy

---

<sup>13</sup> M. CAPEK: *The Philosophical Impact of Contemporary Physics*, Ed. van Nostrand Company, Princeton, New York, Toronto, London, 1961, págs. 289-332.

<sup>14</sup> Demócritos: DIELS-KRANZ, *Die Fragmente der Vorsokratiker*, 6ª ed. Berlín, 1952, vol. II, págs. 93 y sg.

día se prefiere la precisión: de campos energéticos) por leyes naturales, que permiten su formación racional-lógica en ecuaciones matemáticas. Pero sí es verdad que la nueva física rechaza rotundamente el primer y el segundo punto que constituyen "la ilusión de Laplace", a saber: un atomismo sustancial y un continuo medial, las dos cosas independientes, separables y aisladas entre sí.

Es interesante observar que la crítica que lanza la nueva física, contra esos ídolos del materialismo mecanicista, ya es conocida desde casi dos milenios y medio, y atraviesa toda la historia del pensamiento humano. Las famosas paradojas del Eleata Zenón (ca. 490-430 antes de Cristo) anticipan la crítica moderna y la situación de la física cuántica. Zenón quiere demostrar que es *imposible pensar un continuo real* o, mejor dicho, *actual*, o lo que dice lo mismo: que es *imposible pensar una infinitud numérica actual*. La argumentación de Zenón contra un atomismo sustancial procede en tres pasos: Primero: Si algo que existe sería divisible *in infinitum*, no surge ninguna contradicción al suponer que fue dividido totalmente ("panté"). Segundo: Pero una división total disolvería la cosa en elementos de ninguna extensión. Tercero: Es imposible; porque ninguna magnitud puede consistir de elementos sin extensión. La estructura lógica de la antítesis es la siguiente: Ninguna cosa puede tener unidad si tiene extensión, porque toda cosa que tiene extensión es divisible en partes. Conclusión: Lo que tiene partes, no tiene unidad<sup>15</sup>. Es obvio que Zenón anticipa, 2.200 años antes, las antinomias de la Razón pura, en la "dialéctica trascendental de Kant"<sup>16</sup>. El andamiaje del pensamiento es claro: Cada cuerpo -por pequeño que sea- es extenso y ocupa un cierto volumen de espacio. Por tanto, un átomo, si se considera como un corpúsculo que ocupa un espacio, es divisible como el volumen espacial que llena, y así *in infinitum*. La consecuencia es: No pueden existir "a-tomos", esto es, objetos in-divisibles corpóreos, es decir, que ocupan un cierto volumen -no importa lo pequeño que sea- de espacio.

Antes de discutir la solución del problema que intenta dar la física nueva, es preciso recordar brevemente la crítica que Zenón ha dirigido contra la posibilidad lógica de un continuo actual *espacio- temporal* -como hemos visto, el segundo presupuesto del determinismo de Laplace-. La física cuántica abarca los dos aspectos en uno: Hace constar que lo estático (la localización en el espacio) y lo

---

<sup>15</sup> SIMPLICIUS: *In Physica*, 139, 24-140, 26; 141, 6-8.

<sup>16</sup> KANT: *Kritik der reinen Vernunft*, A 434-443; B 462-471.

dinámico (el movimiento espacio-temporal) ya no pueden ser aislados y separados. Esto precisamente es el sentido crítico de las relaciones de complementariedad.

Las paradojas cinemático-dinámicas de Zenón, que interesan aquí, son dos, a saber: la carrera de los atletas en el estadio<sup>17</sup> o, más conocida y drástica aún, la carrera de Aquiles<sup>18</sup>, y la flecha que se mueve y no se mueve, a la vez<sup>19</sup>.

El problema real y óntico que late en estas paradojas, desde luego, no es si Aquiles alcanza y adelanta a la tortuga o no -en el último momento, hace un salto y la tiene adelantada-, sino es la pregunta atormentada: ¿Cuánto tiempo dura un instante de presencia? Si nos situamos en la milésima parte de un segundo antes de que Aquiles alcance la tortuga, siempre se puede pensar en la cien milésima parte de un segundo, en la mil milésima parte de un segundo... y así sigue, en divisiones y subdivisiones cada vez más pequeñas, *in infinitum*, sin coincidir nunca con un intervalo "cero". Es el mismo problema de la duración real del "ahora", del "nyn", del "nunc", que Aristóteles discute en el cuarto libro de su "Física"<sup>20</sup>, y que San Agustín trata en un estilo insuperable en el libro undécimo de sus "Confesiones". Se ha tardado hasta el siglo pasado para que tengamos la solución exacta del problema en el análisis matemático, por medio del criterio de convergencia de Augustin Louis Cauchy y la cortadura de Richard Dedekind<sup>21</sup>. El resultado es una demostración precisa y rigurosa de la solución que ha adivinado ya Aristóteles: Una infinitud numérica -y, por tanto, un continuo (tá synejés)- no puede existir en realidad y actualidad, sino tan sólo como la posibilidad o potencia ideal de la razón consciente de "seguir contando" o de "seguir dividiendo".

La ciencia moderna -en sus dos ramos más competentes para abordar el problema, a saber: la física y la psicología- contesta con la introducción de un "tiempo mínimo" como límite de la duración de la vida de una partícula elemental (aproximadamente  $10^{-23}$  segundos), y una "longitud mínima" como límite del espacio de localización de una partícula (aproximadamente  $10^{-13}$  cm.). Por supuesto, estos datos numéricos se derivan de la convergencia de muchos experimentos; pero el hecho de que existen limitaciones internas de posibles localizaciones y temporali-

---

<sup>17</sup> ARISTÓTELES: Phys., 263 a 4-6. (18).

<sup>18</sup> *Ib.*, 239 b 11-18

<sup>19</sup> *Ib.*, 239 b 5-7, 30-32

<sup>20</sup> ARISTÓTELES: Phys., 217 b 25-218 a 29

<sup>21</sup> Para más detalle, véase: WOLFGANG STROBL *La realidad científica y su crítica filosófica*. Ediciones Universidad de Navarra, Pamplona, 1966, 427 páginas. cap. 4.2.7 y 4.2.8

zaciones -con otras palabras, que no hay un continuo actual o, lo que vale lo mismo, una divisibilidad "in infinitum"-es una necesidad lógica "a priori".

Por otra parte, la psicología experimental nos enseña que el tiempo que vivimos los hombres tampoco permite una "división al infinito" sino que existe un "tiempo de presencia" muy bien experimentable de nuestras vivencias (no mucho menos que la décima parte de un segundo; comprobable en experimentos taquiscópicos). Por último, la ilusión del continuo puede explicarse fácilmente por la "función niveladora" que ejerce la intuición humana sobre los fenómenos reales. Para citar tan sólo dos ejemplos : Los billones de estrellas aisladas -a distancias inmensas- que componen el mundo en que vivimos, la "galaxia", en noches claras y despejadas nos parecen como una cinta continua de luz, la "vía láctea". Otra experiencia reiterable cada día es la aparente continuidad sobre la pantalla del cine o de la televisión, que en realidad se compone de la sucesión rapidísima de muchas instantáneas discretas y discontinuas.

Por todas estas razones, es fácil explicar el continuo como una proyección de la continuidad vivencial del alma humana, que no tiene correspondencia en el mundo exterior de las cosas no animadas.

Últimamente, al analizar la paradoja de Zenón acerca de la flecha que se mueve y no se mueve, podemos volver directamente al cuadro de presupuestos de la ilusión determinista de Laplace. El presupone no sólo una localización infinitesimalmente exacta de los corpúsculos -y acabamos de mencionar que la física contemporánea no permite una localización sino en un halo de, por lo menos,  $10^{-13}$ , sino también y simultáneamente la posesión de un impulso o una cantidad de movimiento definido sin ningún intervalo de oscilaciones de sus valores. Pero tal supuesto es una idealización que no tiene apoyo alguno en la realidad. Para medir una velocidad, y hacer constar así una cantidad de movimiento, son necesarias por lo menos dos posiciones distintas de la partícula que se mueve. Siempre es preciso proceder según el esquema siguiente: "Ahora" -comparando una localización con la posición de la manecilla de un reloj-, "ahora la partícula ha pasado por esta marca A"; "ahora ha pasado por otra marca B"; y entonces puedo formar la diferencia B menos A, y dividirla por la diferencia temporal de las localizaciones, para definir así la velocidad entre A y B. Puedo acercar B a A cuanto quiera, y puedo hacer las diferencias espaciales y temporales tan pequeñas que se quiera, pero

nunca las diferencias pueden convertirse en cero o -lo que es lo mismo- nunca el punto B puede coincidir con el punto A, so pena de que desaparezca el movimiento y se convierta en reposo, relativo al sistema de coordenadas en cuestión. La matemática pura expresa este hecho insoslayable con la condición de que el cociente diferencial o la función derivada está definida en cualquier contorno -por pequeño que sea- de cualquier punto X de la función originaria, pero no en este mismo punto X. El análisis matemático del continuo es exacto, por moverse en un campo ideal de posibilidades ilimitadas; pero por este mismo carácter de puras posibilidades no coincide con la realidad actual, sino por aproximaciones.

El análisis que acabamos de esbozar brevemente vale también sin referencia a mediciones experimentales. También en el puro pensar de la realidad, sin que intervenga un hombre de profesión físico, Zenón de Elea tiene razón: o la partícula está localizada en un solo punto, y entonces no se mueve; o la partícula se mueve entre dos puntos distintos, y entonces no está localizada exactamente. *Tertium non datur.*

Desde luego, la lógica y la matemática puras no pueden efectuar más que esta crítica formal y general de la posibilidad de un continuo real y actual. El hecho de que existe, en la realidad, una longitud mínima ( $10^{-13}$  cm.) y un tiempo mínimo ( $10^{-23}$  sec.), como el espacio y el tiempo mínimo de vida que necesitan partículas elementales para realizarse, fue consecuencia de los resultados experimentales y no pudo predecirse teóricamente. Asimismo, un análisis lógico de la realidad móvil y movida, solamente permite hacer constar que debe haber una vinculación estrecha y necesaria entre los parámetros de localizaciones espacio-temporales y los parámetros dinámicos-energéticos (cantidad de movimiento y estados de energía), de modo que cuanto más se acentúa un término de las relaciones, tanto más se funde el otro término, complementario al primero, y viceversa; pero encontrar la formulación exacta y numérica que dice que el producto de parámetros complementarios es siempre un múltiple entero del "quantum de acción" de Plack, esta ley básica de todas las determinaciones microfísicas que expresan las relaciones de Heisenberg no pudo verificarse sino al hilo de los datos experimentales.

Pero viene más aún. El descubrimiento de la esencial discontinuidad de los procesos microfísicos y elementales -la base y el punto de partida de la mecánica cuántica que Heisenberg ideó entre los años 1920 y 1923, y que le valió el premio Nobel de 1932- en cuanto tal, todavía no es suficiente para contrarrestar al determi-

nismo de Laplace. Fue un primer paso, nada más. La comprobación de que es posible construir un determinismo físico a la base de una total discontinuidad espacio-temporal -por supuesto, a condición de sacrificar la realidad vivida del tiempo- fue la aparición de la obra *Principia Physica*, del físico alemán Hans Georg Küssner, en 1946<sup>22</sup>. Pero tuvo poco éxito.

La gran mayoría de los físicos en la actualidad siguen la línea de la "Escuela de Copenhague", cuyos representantes más destacados son Niels Polar (1885-1962) y Werner Heisenberg (nacido en 1901). La base experimental es la llamada "*doble naturaleza de la luz y de la materia*". Esto quiere decir: Tanto el campo electromagnético (del que la luz visible es un sector muy pequeño) como el campo material se manifiestan en dos aspectos o formas diferentes e irreductibles, a saber: el aspecto *ondulatorio* y el aspecto *corpuscular*. Cada experimento que investiga el *movimiento*, la *propagación* de partículas elementales revela que se comportan como si fueran *ondas*, porque sólo las ondas pueden apagarse mutuamente, al superponerse con una diferencia de la mitad de su longitud de onda y coincidir así cada vez una montaña de un tren de ondas con un valle de otro, de modo que por la superposición de dos (o más) movimientos ondulatorios resultan efectos "cero" en algunas zonas, pero también amplificaciones en otras. Los dibujos regulares de "interferencias" que salen así han sido observados y fotografiados muchas veces en experimentos con partículas elementales (electrones, protones, etc.). por ejemplo, después de pasar a través de la red molecular de un cristal (el primer experimento de este tipo fue realizado por Davisson y Germer, en 1927). Por otra parte, cada experimento que se ocupa de las interacciones de partículas elementales con entidades físicas mayores, es decir, sistemas estructurados y organizados, como son los átomos, las moléculas, demuestra el aspecto corpuscular en efectos concentrados, casi puntuales (como, por ejemplo. el efecto foto-eléctrico, el efecto "Compton", la ionización de átomos o moléculas por la incidencia de partículas, etc.). Por último, en las interacciones de varias partículas elementales resultan efectos también concentrados, a saber: procesos de transformación, de aniquilación y de nacimiento de partículas. La conclusión que ha sacado la física teórica de un sinnúmero de experimentos de estos tipos, es la siguiente: Al movimiento puro de partículas hemos de adscribir un carácter ondulatorio, porque, de lo contrario, no

---

<sup>22</sup> H. G. KÜSSNER: *Principia Physica*. Ed. Vandenheock & Ruprecht, Göttingen, 1946.

pueden explicarse todos los experimentos que se refieren a la propagación de partículas. A las interacciones de partículas elementales con otras partículas, con átomos y con moléculas hay que atribuir una índole casi-puntual o, si se quiere, "corpúscular", porque todos los experimentos correspondientes lo ostentan así.

El formalismo de la física teórica ha adelantado los hechos experimentales en algunas años. Entre 1925 y 1927, fueron publicados los trabajos que fundaron la llamada "*mecánica ondulatoria*", cuyos autores son el premio Nóbel francés Prince Louis de Broglie y el premio Nóbel austriaco Erwin Schrödinger. En la interpretación que la ya mencionada Escuela de Copenhague y de Gotinga ha dado a la famosa ecuación ondulatoria de Schrödinger, el cuadrado de la amplitud de las oscilaciones que describe esta ecuación diferencial indica la *probabilidad de posibles actualizaciones casi puntuales* -el aspecto complementario de "corpúsculos" o "partículas"- que se pueden realizar en interacciones de varias partículas o de partículas con átomos y moléculas. Es interesante cómo se repite en la física cuántica y ondulatoria del microcosmos la solución aristotélica: A las manifestaciones discontinuas, en interacciones mutuas, se les atribuye el carácter de *actualidad*; mientras que lo que "media" entre tales actos de realización, son ondas de *probabilidades de futuras "encarnaciones"*, las que por tener el modo de ser potencial o virtual, no se oponen a ser continuas; porque hemos visto que un continuo no puede ser pensado sino en la forma de progresiones o divisiones posibles; y la probabilidad es la precisión matemática de la categoría vaga de la posibilidad. (Las palabras "realizaciones", "actualizaciones", "manifestaciones", e incluso "encarnaciones", para caracterizar el propio modo de ostentarse de las partículas elementales, las hemos adoptado de las obras de Louis de Broglie.)

La solución aristotélica para explicar el dualismo entre el aspecto ondulatorio y el aspecto corpúscular de partículas elementales y de fotones (cuanta de la luz y del campo electromagnético, en general), es decir, la aplicación del binomio *potencia-acto* (atribuyendo el modo de ser *potencial a la onda de probabilidades de futuras actualizaciones casi-puntuales*, y el carácter de *actualidad a las interacciones discretas y concretas*), fue defendida en nuestro siglo por dos pensadores: Ya desde hace cuarenta años por el matemático y filósofo Aloys Wenzl (1887-1967; rector de la Universidad de Munich, 1947-48)<sup>23</sup>, y últimamente por Werner Heisenberg, en sus

---

<sup>23</sup> A. WENZL: *Das naturwissenschaftliche Weltbild der Gegenwart*, Ed. Meiner, Leipzig, 1935; *Philosophie als Weg*, ib., 1939.

"Gifford-Lectures" de 1955-56, sobre "Física y Filosofía"<sup>24</sup>. Con estas aclaraciones, el determinismo de Laplace se hunde y cae abajo. Porque la consecuencia inevitable de la investigación científica del siglo XX es la siguiente: Aun cuando conociésemos todos los datos de un estado actual del mundo en que vivimos -lo que ya es tarea muy difícil, por las relaciones de Heisenberg-, sin embargo, *los estados futuros no podrían calcularse como hechos ya consumados o predestinados, sino tan sólo como halos de inclinaciones hacia mayor o menor probabilidad*. Con esta constatación, se introduce en el mundo una distinción clara entre el futuro y el pasado, que no existía en la física clásica (de los siglos XVII-XIX), a saber: el futuro es el tiempo del "porvenir", de las posibilidades y probabilidades que se pueden modificar y alterar todavía: mientras que el pasado es el "pretérito" de los hechos consumados y determinados, ya definitivamente. (La ley de la "entropía", el segundo principio de la termodinámica, conocido ya en la segunda mitad del siglo pasado, ya en la misma dirección.)

Desde luego, muchas dificultades del entendimiento de la situación de la nueva física resultan de malentendidos, causados muy probablemente por faltas en la expresión lingüística heredada de siglos pasados. Werner Heisenberg dijo a este propósito, usando las palabras del evangelio de San Lucas (5, 37) : "Se conocen las dificultades que resultan del intento de apresar hechos nuevos en un sistema viejo... o de echar vino nuevo en cueros viejos. Tales tentativas; resultan siempre precarias, porque llevan a ocuparse de las grietas, que son inevitables en los cueros viejos, en lugar de alegrarse del vino nuevo. No hay ninguna razón para esperar que esos profesores que hace más de cien años inventaron el materialismo dialéctico hayan podido prever el desarrollo de la teoría cuántica. Sus antiguallas de materia y realidad son incompatibles con los resultados que facilita nuestra técnica experimental y perfeccionada de hoy"<sup>25</sup>.

Tomando al pie de la letra las palabras de Heisenberg, para echar el vino nuevo en cueros también nuevos, es indispensable hacer algunas correcciones del lenguaje en uso. Si la física actual ya no permite hablar de "trayectorias continuas" de las partículas elementales, han perdido su "identidad genética" (expresión especial de los físicos), entonces la palabra "partícula" o "corpúsculo" pierde su sentido en general. En lugar de hablar de "partículas", valdría mucho mejor decir

---

<sup>24</sup> W. HEISENBERG: *Physik und Philosophie*, Ed. Ullstein, Berlín, 1961, p. 25, 132, 151 y *passim*.

<sup>25</sup> W. HEISENBERG: *Physik und Philosophie*. Berlín, 1961, p. 113-114.

"eventos elementales" -según nos aconsejan investigadores tan destacados como Alfred North Whitehead y Arthur Stanley Eddington, a cuyas dicciones es cara la expresión "events"<sup>26</sup>. Así es en realidad como aparecen las huellas de "partículas elementales" en los experimentos, por ejemplo, en cámaras de niebla o de burbujas: aparecen siempre de modo discontinuo, como series o sucesiones de ionizaciones de las moléculas de un gas o de un líquido, que forman centros de condensación de pequeñas gotas de niebla (cámara de Wilson) o pequeñas burbujas de gas (cámara de Glaser). Entre dos de tales "eventos" microfísicos no pueden interpolarse trayectorias continuas, sino vale el aspecto ondulatorio, descrito -según las palabras de Heisenberg, ya citadas- en un "esquema matemático no espacio-temporal". Las leyes físicas que expresan estas fórmulas *determinan* las apariciones de procesos microfísicos, que no suceden al azar, sino según armonías y simetrías muy hermosas, cuyo testimonio es cualquier manual de física atómica. Por otra parte, la entrada de una entidad inmaterial que hasta ahora se llama "partículas elementales" en una cámara de burbujas es la *causa eficiente* para que puedan suceder ionizaciones y puedan formarse condensaciones *visibles* por fin, porque ya son objetos macrofísicos que pertenecen al mundo de las "dimensiones intermedias" (esta tierra representa aproximadamente la mitad entre las dimensiones cósmicas y las atómicas).

Podemos resumir: En la física nuevo no hay *ni determinismo, ni indeterminismo*, si entendemos -como suele expresarse con la desinencia "-ismo"- con estas palabras exageraciones extremadas: Una determinación total e infinitesimal -al estilo de Laplace-, o ninguna determinación por leyes, el puro azar -como en el atomismo griego-. Queda en pie, en la nueva física, tanto la *determinación por leyes* (la cual, por ser una determinación inmaterial y general, incluso puede ser universal, representa una especie de causa formal) como la *determinación por causas eficientes* (que siempre es individual y concreta). Desde luego y por supuesto, *no puede ser determinado más que lo que existe*. Laplace había creído que existen átomos como pequeños trozos de materia indestructible, que existen un espacio y un tiempo absolutos, infinitos y continuos; y que materia, espacio y tiempo serían, recíprocamente, separables e independientes. Son estos

---

<sup>26</sup> La sustitución del concepto de "partículas" por la denominación de "eventos elementales" se propone también en: MILIC CAPEK: *The Philosophical Impact of Contemporary Physics*, p. 259 y 285; y WOLFGANG STROBL: *La realidad científica y su crítica filosófica*, p. 190-217; *Introducción a la Filosofía de las Ciencias*. Madrid, 1963, p. 71; *Objektivierbarkeit und Wahr-Sein*, Ms. München, 1954, pp. 159-218

tres falsos dioses: materia, espacio, tiempo, que ha destronado la nueva física; pero deja intactos los principios de determinación y de causalidad. Dicho con más rigor: La física del siglo XX ha comprobado que materia, espacio, tiempo son nociones que pertenecen al mundo del hombre, y que no pueden ser trasladadas al micromundo de las partículas -más exactamente: al de los eventos- elementales, donde las fuentes interiores de lo que insertamos en el esquema materia-espacio-tiempo están "*in statu nascendi*", al punto de nacer, dentro de los límites interiores de la longitud mínima, el tiempo mínimo y el quantum de acción, que forman una unidad relacional inseparable. Y no se diga que un concepto como "evento" presuponga un tiempo continuo, un espacio continuo: "Eventos elementales" no quiere decir más que "*sucede algo*".. que es la fuente intrínseca de la creación continua (aquí, por supuesto, entendemos "continua" en un sentido metafísico, no físico) del mundo en que vivimos.

La física contemporánea logra así una claridad y lucidez lógicomatemática como nunca antes. Las paradojas de Zenón, las aporías de Aristóteles, las antinomías de Kant, quedan resueltas: Átomos de tipo democrítico, desde luego, son divisibles y, por tanto, no son "a-tomos", "in-divisibles"; mientras que "eventos elementales", por ser eventos, no son divisibles; porque si se dividen, son dos eventos, y no uno. La pregunta ansiosa de Aristóteles: ¿Cuánto tiempo dura un "nyn", un "ahora", un momento de presencia? -que abarca el meollo de la carrera de Aquiles, en Zenón- se contesta tranquilamente: Aproximadamente, diez elevado a menos veintitrés segundos, en la vida de las partículas elementales; y más que la décima parte de un segundo, en la vida del hombre -y siempre incluyendo la remiscencia de lo pasado y la anticipación de lo futuro- Desde luego, el precio que pagamos para conseguir tal transparencia y diafanidad lógico-matemática, es la total renuncia a cualquier representación, imaginación, intuición en cuadros de materia-espacio-tiempo- Es preciso la total abstracción de todo modelo de sensibilidad, sea visual o sea háptico, táctil, palpable, asible. Lo único que sabemos de modo positivo del micromundo de los eventos elementales es el *orden estructural que determina sus apariciones*, y que las consideramos como las *causas intrínsecas* de las realizaciones sucesivas que constituyen -en niveles ascendentes: el orden atómico, el molecular, el cristalino, el bioquímico, el vital- el mundo real y cualitativamente percibido en que vivimos.

Teniendo en cuenta siempre las grandes dificultades que surgen al aplicar nuestro lenguaje hablado -que se ha formado dentro del esquema: sustancia material, espacio, tiempo- a las condiciones totalmente distintas del micromundo, para cuya descripción el único medio adecuado es el simbolismo matemático, podemos resumir la forma especial de determinación propia a la microfísica del modo siguiente: Pensamos en una partícula elemental libre, independiente de cualquier intervención de hombres y sus instrumentos de medidas, y sin interacción con átomos o moléculas. Entonces sólo podemos decir: Hay una entidad física -no visible ni palpable y, por tanto, no "material", y no localizada en espacio y tiempo-, una entidad física que tiene la capacidad, la *potencia real* de engendrar eventos elementales (de un modo semejante como una semilla tiene la potencia de engendrar un ser viviente). Por tanto, se puede decir que dicha entidad inmaterial abarca un espectro continuo de *posibles* eventos elementales, "dynámei ónta", en la terminología aristotélica. Más todavía: la entidad elemental posee una cierta *estructura que determina las probabilidades* de eventos microfísicos, y esta estructura se describe matemáticamente como superposiciones de funciones ondulatorias : los cuadrados de sus amplitudes, más exactamente: los productos de las amplitudes por sus conjugadas complejas, indican las probabilidades de posibles eventos elementales, cuya actualización sólo es posible en *interacciones* de, por lo menos, dos entidades microfísicas (ejemplo más sencillo: el nacimiento y la aniquilación de pares de *partículas complementarias*, que falsamente, se llama: "materia-antimateria" ).

Por supuesto -y es preciso insistir en el principio de que no puede ser determinado sino lo que existe.-, los eventos elementales no pueden ser predestinados con una exactitud infinitesimal, como quería Laplace, porque lo infinitesimal no existe en la actualidad, sino tan sólo como progresiones posibles, y porque no hay preexistencia de un espacio y tiempo absolutos y continuos, independientes de las realizaciones físicas, sino que estas mismas actualizaciones, dentro de los límites de "*minima naturalia*" espacio-temporales, constituyen -en niveles ascendientes de mayor orden y estructuración- el mundo espacio-temporal que percibimos.

Una vez más hay que destacar que el pensamiento filosófico-científico ha adivinado y previsto la situación de la física de hoy en meditaciones que tienen casi algo de profético. Ya en el año 1898, Madame Curie, la descubridora de la

radiactividad natural; escribió una frase que anticipa el contenido más importante de la física del siglo XX: "*La materia, aparentemente sólida, es un teatro de nacimiento y muerte*"<sup>27</sup>. Friedrich Wilhelm Schelling -sin duda, influenciado por la "Nonadología" de Gottfried Wilhelm Leibniz- escribió ya en 1793: "Habría que darse en la experiencia *algo* que, aunque *no localizado en el espacio*, sin embargo, sería *principio de toda posible especialización*". Esta "mónada natural" no es "materia", sino "acción, y "no tiene medida alguna, sino su productividad misma"<sup>28</sup>. El último motivo metafísico de tales argumentaciones es el principio que dice que *la causa ha de tener un rango óntico superior al nivel de lo causado*. Siguiendo la línea clásica de toda la tradición místico-filosófica, Maestro Eckehart lo expresa con los sencillos ejemplos: El ser no puede ser causa del ser, como la piedra no puede ser causa de la piedra -de lo contrario, todo queda en un "círculo vicioso", y no se explica nada-<sup>29</sup>. Aplicando este principio a la situación microfísica que acabamos de analizar, podemos decir: La causa de la llamada "materia" debe ser in-material, la causa de espacio y tiempo debe ser trans-espacial y trans-temporal, la causa de lo físico debe ser trans-físico (si se permite usar un neologismo feliz, acuñado por la doctora Hedwig Conrad-Martius, alumna maestra de Edmund Husserl y compañera y amiga de Edith Stein<sup>30</sup>.

A veces se profiere contra el determinismo de Laplace que presupone una simultaneidad absoluta a través de todo el universo, incluso entre acontecimientos que están alejados en distancias cósmicas, de miles de millones años luz; y según la teoría especial o restringida de la relatividad no existe tal simultaneidad, porque no hay una inmediata "actio in distans", sino el límite máximo de cualquier transmisión de una señal es la velocidad de la luz, que es aproximadamente 300.000 kilómetros por segundo. A esta objeción, hay que contestar: Si nos restringimos al mundo del hombre, por supuesto, no hay simultaneidad sino dentro de muy breves distancias; porque los hombres en esta vida estamos ligados a un cuerpo sometido a las leyes de la naturaleza, Simultaneidad absoluta sólo es posible en la omnipresencia de un Espíritu absoluto. Pero la omnisciencia de Dios sabe todo -lo pasado, lo presente y

---

<sup>27</sup> MARIE SKLODOVSKA-CURIE: Les substances radioactives. París, 1898.

<sup>28</sup> SCHELLING: *Erster Entwurf der Naturphilosophie*, 1799; en: *Obras completas* (Sämtliche Werke), 1858, vol. III, p. 21. El texto alemán es el siguiente: "Es müßte also in der Erfahrung etwas vorkommen, das, obgleich selbst nicht im Raum, doch Prinzip aller Raumerfüllung wäre".

<sup>29</sup> Maestro ECKEHART: Tesis de disputaciones de 1302. Cfr.: ALOIS DEMPFF, *Methaphysik des Mittelalters*. München-Berlin, 1930, p. 125.

<sup>30</sup> H. CONRAD-MARTIUS, *Der Selbstaufbau der Natur. Entelechien und Energien*. (La auto-estructuración de la naturaleza. Entelequias y energías.) Ed. Kösel, München, 2.ª ed., 1961. Cfr. sus obras en la misma casa editorial: *Die Zeit* (El tiempo), *Der Raum* (El espacio). *Das Sein* (El ser).

lo futuro no porque lo calcule, como la inteligencia laplaciana, sino porque la ve siempre, en el "nunc stans" de su eternidad, en su Visión creadora que confiere a todo ei mundo su ser y su Verdad.