

¿HAY INDETERMINISMO EN LA NUEVA FÍSICA? (LAS EQUIVOCACIONES IDIOMÁTICAS Y LA REALIDAD EXPERIMENTADA)*

El tema del siguiente trabajo se adapta al título de un famoso artículo de Louis de BROGLIE, el descubridor de la mecánica ondulatoria y premio Nóbel francés: *La physique quantique restera-elle indéterministe*¹. No podemos ni queremos entrar aquí en una discusión de la teoría de los «parámetros ocultos» o «escondidos» de BROGLIE y sus discípulos (entre otros, David BOHM, Paulette FÉVRIER-DESTOUCHES, Jean Pierre VIGIER²), porque es un asunto de la física teórica; mientras lo que aquí intentamos es una crítica del problema «determinismo-indeterminismo» a la luz de la filosofía, basándonos por supuesto en los resultados experimentales y teóricos de la ciencia física del siglo XX.

Para justificar los motivos que nos han sugerido volver a un tema tratado ya en montones de libros y artículos³, lo mejor será anticipar ya ahora las conclusiones finales:

En la nueva física no hay ni *determinismo*, ni *indeterminismo*. Sigue manteniéndose tanto la *determinación por leyes* como la *determinación por causas eficientes*. (De lo contrario, no sería posible en especial una ciencia física, que se reduciría a una aplicación de la teoría matemática de los juegos de azar). Lo que apareció en la nueva física es más bien una profunda crítica de los conceptos de espacio, tiempo y sustancia material (masa), en su versión más o menos materialista y mecanicista, subyacente al determinismo de la física clásica.

Ésta es la concepción del mismo Werner HEISENBERG⁴, premio Nóbel en 1932 y autor de las famosas relaciones llamadas «de indeterminación» o incluso «de incertidumbre». En esta denominación infeliz se apoyan desde hace más de cuarenta años (el primer trabajo original de HEISENBERG, a este propósito, fue publicado en 1927)⁵ las discusiones acerca de un supuesto «indeterminismo» de la física cuántica. Ciertamente que tam-

* Publicado en el *Anuario Filosófico* IV (Pamplona 1971) 365-387.

¹ L. DE BROGLIE, en: «Bulletin de la Société française de Philosophie», 25 abril 1953; *Nouvelles perspectives en microphysique*, París, 1956. 115-165.

² D. BOHM, *Causality and Chance in Modern Physics*, London, 1957; J. P. VIGIER, *Structure des micro-objets...* París, 1956; BROGLIE, BOHM, HALBWACHS, HILLION, TAKABAYASI, VIGIER en: "Physical Review", 129 (1963), pp. 438 y 451.

³ Bibliografía en: Wolfgang STROBL, *Die naturphilosophische Grundlagen-Problematik und die ontologische Bedeutung der neuen Physik*. (La problemática fundamental de la filosofía de la naturaleza y el sentido ontológico de la nueva física). Dis. München, 1952. W. STROBL, *Introducción a la Filosofía de las Ciencias*. Edita *Revista Estudios* (Madrid 1963); *La realidad científica y su crítica filosófica*, Universidad de Navarra, Pamplona, 1966; Milic CAPEC, *The Philosophical Impact of Contemporary Physics*, Van Nostrand, New York, Toronto, London, 1961.

⁴ W. HEISENBERG, *Die physikalischen. Prinzipien der Quantentheorie*, 4ª ed. 1944, pp. 48-49; *Wandlungen in den Grundlagen der Naturwissenschaft*, 8ª ed. 1949; *Physik und Philosophie*, Berlín, 1961

⁵ W. HEISENBERG, en: *Zeitschrift für Physik*, 43 (1927) 172.

bién hay una vertiente del problema respecto a los instrumentos de medición y la perturbación que suscitan necesariamente en los objetos microfísicos, pero este aspecto no es muy importante. Lo decisivo es más bien la pregunta: ¿Cómo pueden pensarse los procesos cuánticos, independientemente de la intervención de un experimentador? La contestación de la física, según la convergencia de cientos de experimentos, es la siguiente: Existen dimensiones complementarias -a saber, las espacio-temporales, por una parte, y las dinámico-energéticas, por otra, que se vinculan y relacionan según las leyes fundamentales de la microfísica, de un modo inseparable, tanto en la realidad como en el pensamiento onto-lógico.

La situación de la física es un ejemplo destacado -y trágico- de *equivocaciones idiomáticas* que inducen a graves errores, si no son corregidas según la realidad experimentada. En lugar de hablar de «relaciones de indeterminación», habría que decir (según el famoso principio de Niels BOHR, el «padre de la física atómica del siglo XX): relaciones de complementariedad. En lugar de hablar de «materia» y «anti-materia» (en una terminología dialéctica, hegeliana), es preciso decir: *partículas complementarias* (es decir, que se complementan mutuamente según una ley que prohíbe que nazcan o mueran solas; siempre aparecen y desaparecen como parejas). En lugar de hablar de «partículas elementales», sería más correcto decir: *eventos elementales*. La lista de tales expresiones podría aumentarse.

Antes de entrar en una explicación sistemática del tema, conviene hacer constar que el problema «determinismo-indeterminismo» atañe únicamente el mundo físico, la realidad exterior al alma humana que percibimos sensorialmente, así como a sus causas intrínsecas y naturales, que no son perceptibles con los sentidos y, por tanto, pueden llamarse «inmateriales», pero que pueden y deben concluirse, en la ciencia física, como causas de los fenómenos, a saber: los tres tipos de «campos energéticos» que conocemos: el campo de las partículas elementales (que es la causa intrínseca de lo que se llama, vulgarmente, «materia»), el campo gravitatorio, y el campo electromagnético. Pero este problema físico y, por tanto, también de una ontología de la física o filosofía de la naturaleza, *no tiene nada que ver con el problema de la libertad o la predestinación de la persona humana*, que es un problema exclusivamente metafísico y religioso.

Dejemos el problema filosófico 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 «nueva física», 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 en la «fórmula universal» que Werner HEISENBERG anunció, en Berlín y en Gotinga en el año 1958, y que explica en su libro *Introducción a la teoría unificadora de campos de las partículas elementales*, publicado en el año 1967⁶. El hecho básico que subyace a esa fórmula, HEISENBERG lo describió ya en 1930 con las palabras siguientes:

«La descripción espacio-temporal de procesos microfísicas, 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»⁷.

Existe, por tanto, el esquema siguiente: En la teoría clásica: Descripción espacio-temporal y causalidad. En la teoría cuántica: descripción espacio-temporal y relaciones de indeterminación, o bien esquema matemático no espacio-temporal y causalidad⁸.

Antes de seguir adelante 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 1927⁹ 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 conjugados», o «complementarios» se relacionan tan estrechamente entre sí, que su producto es igual o mayor que la constante fundamental de PLANCK, el «*quantum* de acción» h . Parámetros «canónicamente conjugados» 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». Esta es precisamente definida como una longitud, esto es, una extensión espacial, multiplicada

⁶ W. HEISENBERG, *Einführung in die einheitliche Feldtheorie der Elementarteilchen*, Ed. Hirzel, Stuttgart, 1967. (Existe edición inglesa simultánea, con el título: *Unified Theory of Elementary Particles*, Interscience Publishers, John Wiley, New York, 196f). El último libro de HEISENBERG continúa la línea. En alemán, lleva el título: *La parte y el todo*, Piper, Munich, 1969; en inglés: *Physics and beyond* (La Física y más allá), Harper and Row, New York, 1970 (Traducción española en preparación).

Las últimas elaboraciones en esta dirección son los trabajos de Fritz BOPP (Munich; sucesor de Arnold SOMMERFELD en la cátedra de Física teórica) sobre una «teoría de campos espinoriales en un espacio reticular», con buena aproximación a los datos experimentales de reciente investigación. Debo las noticias de estos trabajos que pronto van a publicarse a cartas y diálogos del año 1970.

⁷ W. HEISENBERG, *Die physikalischen Prinzipien der Quantentheorie*, Ed. Hirzel, Leipzig, 4ª ed., 1944, p. 48.

⁸ *Ib.*, p. 49

⁹ *Zeitschrift für Physik* 43 (1927), p. 172.

por un «impulso» o «cantidad de movimiento», que a su vez 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 energía. Para explicarlo en un ejemplo concreto y numérico: Si una partícula elemental está localizada en un contorno de 10^{-13} cm. de diámetro, entonces los valores de la cantidad de movimiento que posee en este contorno oscilan en un intervalo de una extensión no menor de 10^{-14} g.cm./seg. porque el producto da exactamente el orden de magnitud del «quantum de acción» de PLANCK que son 10^{-27} cm² g./seg. 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 localización», «Intervalos de oscilación», respecto a posibles mediciones experimentales se manifiesta como «márgenes de indeterminación» o de «incertidumbre». 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 PLANCK¹⁰.

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 -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 que lo que se critica es la posibilidad de un *continuo real y físico* que se reemplaza, según el pasaje citado de HEISENBERG, por un

¹⁰ Cfr. el artículo de Wolfgang STROBL, "El principio de complementariedad y su significación científico-filosófico", en: *Anuario filosófico*, I (Pamplona 1968) 183-203.

Hay dos tipos de pruebas experimentales en la física actual, 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 explicado 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» 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.

«esquema matemático no espacio-temporal». Hoy día como en la época de GALILEO y NEWTON, el «siglo de oro» de la física clásica, ningún físico duda de la *determinación por leyes y por causas*. Pero 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*¹¹.

Merece la pena traducir literalmente el famoso pasaje del prólogo al *Ensayo filosófico sobre las probabilidades*, al que se refiere CAPEK hablando de «la ilusión de LAPLACE»:

«Una inteligencia que, para un instante dado, conociera todas las fuerzas de las que la naturaleza es animada, y la situación respectiva de los seres que la componen; si por otra parte ella fuese suficientemente vasta para someter estos datos al análisis, abrazaría en la misma fórmula los movimientos de los cuerpos más grandes del universo y aquellos del más ligero átomo; nada sería incierto para ella, y el porvenir como el pasado sería presente ante sus ojos. El espíritu humano ofrece, en la perfección que él ha sabido dar a la astronomía, un débil bosquejo de aquella inteligencia».

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 «*mé on*», el «ser pleno» y el «no ser», ya presente en DEMOCRITO¹². *Tercero*: Un dinamismo cinético: Los átomos no caen al azar -como en la antigüedad; para los griegos *tyjé* y *anánke*, 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 Joannes

¹¹ Op. cit., pp. 289-332.

¹² DIELS-KRANZ, *Die Fragmente der Vorsokratiker*, 6ª Ed., Berlín, 1952, vol. II, pp. 93 y ss.

PHILOPONOS, en el siglo VI, con su «potencia interna» (*dynamis endótheisa*), a través de los persas y árabes: ALFARABI († 950), AVICENNA (ibn-Sinâ, 980-1037) y ALPETRAGIUS (al-Bitrûgui, ca. 1150-1200) y a través de las Escuelas de París y de Oxford, en el siglo XIV, directamente a Leonardo da VINCI (1452-1519), Galileo GALILEI (1564-1642), Pierre GASSENDI (1592-1655), René DESCARTES (1596-1650), Isaac NEWTON (1642-1727) y Gottfried Wilhelm LEIBNIZ (1646-1716), el autor de la Monadología y de la «armonía preestablecida» 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 día se prefiere la precisión: de campos energéticos) por leyes naturales, que permiten su formulación 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, como 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 hace casi dos milenios y medio, y atraviesa toda la historia del pensamiento humano. Las famosas paradojas del Eleata ZENÓN (aprox. 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 fuese divisible *in infinitum*, no surge ninguna contradicción al suponer que fue dividido totalmente (*pántê*). Segundo: Pero una división total disolvería la cosa en elementos sin ninguna extensión. Tercero: Esto 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 unidad¹³.

Es obvio que ZENÓN anticipa 2.220 años las antinomias de la razón pura, en la «dialéctica trascendental» de KANT¹⁴. 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 exis-

¹³ SIMPLICIO, *In Physica*, 139, 24-140, 26; 141, 6-8.

¹⁴ KANT, *Kritik der reinen Vernunft*, A 434-443; B 462-471.

tir «á-tomos», esto es, objetos in-divisibles corpóreos, es decir, que ocupen un cierto volumen -no importa lo pequeño que sea- de espacio.

Antes de discutir la solución del problema que intenta dar la nueva física, 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-. Porque la física cuántica abarca los dos aspectos en uno: lo estático (la localización en el espacio) y lo dinámico (el movimiento espacio-temporal) ya no pueden ser aislados y separados. Esto precisamente es el sentido óptico de las relaciones de complementariedad.

Las paradojas cinemático-dinámicas de ZENÓN que interesan¹⁵ aquí son dos, a saber: la carrera de los atletas en el estadio o, más conocida y drástica aún, la carrera de Aquiles¹⁶, y la flecha que se mueve y no se mueve, a la vez¹⁷.

El problema real y óptico 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 a la tortuga, siempre se puede pensar en la cienmilésima parte de un segundo, en la mil milésima parte de un segundo... y así sucesivamente, 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*¹⁸, y que San AGUSTIN 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 Agustín Louis CAUCHY y la cortadura de Richard DEDEKIND¹⁹ II. El resultado es una demostración precisa y rigurosa de la solución que ha adivinado ya ARISTÓTELES: Una infinitud numérica -y por tanto, un continuo (*tó synejés*) - no puede existir en realidad y actualidad, sino tan sólo como 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 una partícula elemental (aproximadamente 10^{-23} seg.), y una (longitud mínima como límite del espacio de localización de una partícula (aprox. 10^{-13} cm.). Por supuesto, estos datos numéricos se derivan de la convergencia de muchos

¹⁵ ARISTÓTELES, *Phys.*, 263 a 4-6.

¹⁶ *Ib.*, 239 b 11-18.

¹⁷ *Ib.*, 239 b 5-7, 30-32.

¹⁸ ARISTÓTELES, *Phys.*, 217 b 25-218 a 29.

¹⁹ Para más detalles, véase: Wolfgang STROBL, *La realidad científica y su crítica filosófica*, Ediciones Universidad de Navarra, Pamplona, 1966. 42,1 pp. Cap. 4.2.7 y 4.2.8.

experimentos: pero el hecho básico de que existen limitaciones internas de posibles localizaciones y temporalizaciones -con otras palabras, que no hay un continuo actual o, lo que es 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, 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.

Finalmente, 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 de terminista 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} cm.-, 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 presupuesto 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- 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 0 -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 en la condición de que el cociente diferencial o la función derivada esté 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 físico, ZENÓN de Elea tiene razón: si la partícula está localizada en un solo punto, entonces no se mueve; o bien, si la partícula se mueve entre dos puntos distintos, 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 exista, en la realidad, una longitud mínima (10^{-13} cm.) y un tiempo mínimo (10^{-13} seg.), como el espacio y el tiempo mínimos de vida que necesitan las partículas elementales para realizarse, fue consecuencia de 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 dinámico-energéticos (cantidad de movimiento y estados de energía), de modo que cuanto más se acentúa un término de las relaciones, tanto más se diluye el otro término, complementario al primero, y viceversa. Pero la formulación exacta y numérica que dice que el producto de parámetros complementarios es siempre un múltiplo entero del «*quantum* de acción» de PLANCK, esta ley básica de todas las determinaciones microfísicas que expresan las relaciones de HEISENBERG, no pudo establecerse sino al hilo de los datos experimentales.

Pero hay más aún. El descubrimiento de la esencial continuidad 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- en cuanto tal todavía no es suficiente para contrarrestar al determinismo de LAPLACE. Fue un primer paso, nada más. La comprobación de que es posible construir un determinismo físico a base de una total discontinuidad espacio-temporal -por supuesto, a condición de sacrificar la realidad vivida del tiempo- fue obra del físico alemán Hans Georg KÜSSNER, en 1946²⁰ 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 BOHR (1885-1962) y Werner HEISENBERG (nació 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

²⁰ H. G. KÜSSNER, *Principia Physica*, Ed. Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen, 1946.

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 tales «interferencias» fueron observados y fotografiados muchas veces en experimentos con partículas elementales (electrones, protones, etc.), p. e. 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). En cambio, 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, muestra el *aspecto corpuscular* en efectos concentrados, casi puntuales (como, p. e., el efecto fotoeléctrico, 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 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, «corpuscular», porque todos los experimentos correspondientes lo ostentan así.

El formalismo de la física teórica ha adelantado los hechos experimentales en algunos 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 ver 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 probabilidad de futuras «encarnaciones»*, las cuales por tener el modo de ser

potencial o virtual, no se oponen a ser continuas. En efecto, hemos visto que un continuo no puede ser pensado sino en forma de progresiones o divisiones posibles; y la probabilidad es la precisión matemática de a categoría vaga de posibilidad. (Las palabras «realizaciones, «actualizaciones», «manifestaciones», e incluso «encarnaciones», para caracterizar el propio modo de ostentarse de las partículas elementales, las hemos tomado de las obras de Louis de BROGLIE).

La solución aristotélica para explicar el dualismo entre el aspecto ondulatorio y el aspecto corpuscular de partículas elementales y de fotones (*quanta* 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: por el matemático y filósofo Aloys WENZL ya desde 1930 (1887-1967; rector de la Universidad de Munich 1947-48)²¹ y por Werner HEISENBERG, en sus «Gifford-Lectures» de 1955-56, sobre Física y Filosofía²².

Con estas aclaraciones, el determinismo de LAPLACE se viene abajo. 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», tiempo 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, va 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 palabras del Evangelio:

«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

²¹ A. WENZL, *Das naturwissenschaftliche Weltbild der Gegenwart*, Ed. Quelle und Meyer, Leipzig, 1929; *Metaphysik der Physik von heute*, Ed. Meiner, Leipzig, 1935; *Wissenschaft und Weltanschauung*, Meiner, Leipzig, 1935; *Philosophie als Weg*, ib., 1939.

²² W. HEISENBERG, *Physik und Philosophie*, Ed. Ullstein, Berlín, 1961, pp. 25, 132, 151 y passim.

cueros viejos, en lugar de alegrarse del vino nuevo. No hay ninguna razón para esperar que esos profesores que hace más de cien años han inventado 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 perfeccionada de hoy»²³

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 que ya no son cosas que «se conservan en espacio y tiempo», sino que han perdido su «identidad genética» (expresión especial de los físicos), entonces la palabra «partículas» o «corpúsculos» pierde su sentido en general. En lugar de hablar de «partículas», valdría mucho más decir «*eventos elementales*», según nos aconsejan investigadores tan destacados como Alfred North WHITEHEAD y Arthur Stanley EDDINGTON, a cuyas dicciones es cara la expresión «*events*»²⁴. Así es en realidad cómo aparecen las huellas de «partículas elementales» en los experimentos, 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 que 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 hasta ahora llamada «partícula elemental- 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» (la Tierra representa aproximadamente la mitad entre las dimensiones cósmicas y las atómicas).

Podemos resumir: En la nueva física no hay ni *determinismo*, ni *indeterminismo*, si entendemos -como suele expresarse con la desinencia «-ismo» con estas palabras exageraciones extremadas: 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

²³ W. HEISENBERG, *Physik und Philosophie*, Berlín, 1961, pp. 113-114.

²⁴ La sustitución del concepto de «partículas» por la denominación de eventos elementales se propone también en: Milic CAPEK, *The Philosophical Impact of Contemporary Physics*, pp. 259 y 285; y Wolfgang STROBL, *La realidad científica y su crítica filosófica*, pp. 190-217; *Introducción a la Filosofía de las Ciencias*, Madrid, 1963, p. 71; *Objektivierbarkeit und Wahr-Sein*, München, 1954, pp. 159-218.

inmaterial y general, 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 existían átomos como pequeños trozos de materia indestructible, que existía un espacio y un tiempo absolutos, infinitos y continuos; y que materia, espacio y tiempo eran, recíprocamente, separables e independientes. Son estos tres falsos dioses: materia, espacio, tiempo, los 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: 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 lógico-matemática nunca alcanzada antes. Las paradojas de ZENÓN, las aporías de ARISTÓTELES, las antinomias de KANT quedan resueltas: los átomos de tipo democrítico, desde luego, son divisibles y, por tanto, no son «á-tomos» ni «in-divisibles»; mientras que los «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 ZENON se contesta tranquilamente: Aproximadamente diez elevado a menos veintitrés segundos, en la vida de las partículas elementales; y algo más que la décima parte de un segundo, en la vida del hombre -y siempre incluyendo la reminiscencia 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 precisa la total abstracción de todo modelo sensible, 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: Pensemos en una partícula elemental libre, independiente de cualquier intervención de hombres y sus instrumentos de medida y sin interacción con átomos y moléculas. Entonces sólo podemos decir: Hay una entidad física -no visible ni palpable y, por tanto, no «material» ni localizada en espacio y tiempo-, pero esta entidad 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 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 partículas *complementarias*, que falsamente se llaman: «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. Lo infinitesimal no existe en la actualidad, sino sólo como progresiones posibles, y no hay pre-existencia de un espacio y tiempo absolutos y continuos, independientes de las realizaciones físicas, sino que estas mismas actualizaciones, dentro de los límites de «*mínima naturalia*» espacio-temporales, constituyen -en niveles ascendentes de mayor orden y estructuración- el mundo espaciotemporal 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*»²⁵. Friedrich Wilhelm SCHELLING -sin duda, por influencia de la Monadología de Gottfried Wilhelm LEIBNIZ- escribió ya en 1799: «Habría de darse en la experiencia *algo* que, aunque no localizado en el espacio, sin embargo fuera *principio de toda posible espacialización*». Esta «móna-

²⁵ Marie SKLODOVSKA-CURIE, *Les substances radioactives*, París, 1898.

da natural» no es «materia», sino «acción», y «no tiene medida alguna sino su productividad misma»²⁶. 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, el 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 nada²⁷. 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 transespacial y trans-temporal, la causa de lo físico debe ser trans-física (si se permite usar un neologismo feliz, acuñado por la doctora Hedwig CONRAD-MARTIUS, alumna de Edmund HUSSERL y compañera y amiga de Edith STEIN)²⁸.

A veces se arguye contra el determinismo de LAPLACE que presupone una simultaneidad absoluta a través de todo el universo; incluso entre acontecimientos que están alejados por distancias cósmicas, de miles de millones años de luz; y según la teoría especial o restringida de la relatividad no existe tal simultaneidad, porque no hay una inmediata *actio in distans*, sino que 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 omnipresencia de Dios lo sabe todo -lo pasado, lo presente y lo futuro- no porque lo calcule, como la inteligencia Laplaciana, sino porque lo ve siempre, en el «*nunc stans*» de su eternidad, en su *Visión creadora* que confiere a todo el mundo su ser y su Verdad.

²⁶ 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 et etwas vorkommen, das, obgleich selbst nicht im Raum, doch Prinzip aller Raumerfüllung wäre»

²⁷ Maestro ECKEHART, *Tesis de disputaciones de 1302*. Cfr. Alois Da.MPS, *Metaphysik des Mittelalters*, München-Berlín. 1930, p. 125

²⁸ H. CONRAD-MARTIUS. *Der Selbstaufbau der Natur. Entelechien und Energien*. (La auto-estructuración de la naturaleza. Entelequias y energías). Ed. Kösel, München, 2ª ed. 1961. Cfr. sus otras obras en la misma casa editorial: *Die Zeit* (El tiempo). *Der Raum* (El espacio). *Das Sein* (El ser).