

TRASCENDENCIA FILOSÓFICA DE LAS INVESTIGACIONES DE LA FÍSICA MATEMÁTICA SOBRE LA CONSTITUCIÓN DE LA MATERIA

Es ciertamente lamentable, aunque de muy difícil remedio, el casi absoluto apartamiento y mutua incomprensión en que se desarrollan, por una parte, la ciencia experimental y matemática, y por otra, la Filosofía. En el estado actual de la ciencia, la investigación requiere una especialización tal, que el estudio de un solo fenómeno (como, por ejemplo, el de Zeemann, o el efecto llamado *fotoléctrico* y otros ciento por el estilo) requiere costosas instalaciones y exige que, no un sólo hombre, sino toda una escuela consagre la actividad entera de sus miembros al estudio del grupo de fenómenos relacionados con él. Para llegar a trabajos de conjunto y más aún para someter al cálculo matemático los resultados experimentales, se necesita una organización y cooperación sistemática que no siempre consigue su objeto, porque ni es posible a un solo hombre haber compulsado personalmente los miles de hechos que cada día se descubren, ni la profesión de experimentador es siempre compatible con la de matemático, exigiendo a su vez cada rama de la matemática una especialización cada día mayor.

Con esto se comprenderá fácilmente que no existiendo ni aun conatos de organización científico-filosófica, los científicos divaguen y aun desatinen cuando comienzan a querer filosofar, y los filósofos ignoren completamente lo que ocurre en el terreno científico y aun el lenguaje mismo matemático con que se tiende, cada día más, a formularlo.

Todavía esta falta de organización de los estudios científico-filosóficos sería menos de lamentar si estas dos ciencias no necesitasen la una de la otra. No es así, y ambas pierden, por lo menos, un tiempo precioso, ignorándose mutuamente. Pero por lo que toca a la filosofía cristiana, hay algo más lamentable aún. Ella es, al menos en algunos de sus puntos, el soporte sobre el cual se apoya la fe. Esta nada tiene que temer de la investigación científica, que si en sus tanteos, idas y

venidas parece a veces separarse de aquélla, vuelve al fin a sus cauces por la misma fuerza gravitatoria de la verdad, que acaba por triunfar en contra de sus enemigos y a pesar de la inconsciencia o desidia de sus defensores. Pero entre tanto, multitud de espíritus deficientemente formados, que no saben distinguir en las elucubraciones de los científicos lo que es verdad adquirida de lo que son aberraciones pseudofilosóficas, creen definitivamente destruídas las bases de la religión, porque no hay quien sea capaz de seguir (ya que no de dirigir) la investigación científica en su propio terreno, y de asignar en él, con toda precisión, la línea divisoria entre la verdad y el error.

La presente nota tiene por objeto llamar la atención de los lectores de ESTUDIOS ECLESIASTICOS sobre un punto alrededor del cual se concentra en los momentos actuales la más tebril actividad de los investigadores científicos, tanto experimentadores como matemáticos que, en miles de artículos, opúsculos y obras extensas, dan cuenta diariamente de sorprendentes resultados experimentales, cuya concordancia cualitativa y cuantitativa con abstractísimas teorías matemáticas, lleva al ánimo de quien los estudia la convicción de que efectivamente se ha tropezado con un filón fecundísimo de descubrimientos en el terreno, no sólo de la experimentación, sino aun de toda la filosofía natural. Pero lo interesante del caso es que los mismos físicos y matemáticos, como Heisenberg, Born, Jordan, Frenkel, Haas y otros muchos que más han contribuído a conseguir una síntesis indudablemente admirable, que parece ser la única manera de conciliar los hechos más paradójicos, sostienen (como lo voy a hacer notar, y sería muy fácil multiplicar las citas) que los hechos demostrados no permiten conservar la noción de *causalidad* física ni la de *determinismo* o *ley natural definida*, y que hay que sustituir al primero exclusivamente la *probabilidad* y al segundo el concepto de **ley estadística**, como las que rigen a las compañías de seguros. Hay que advertir que los hombres que así hablan son puramente científicos y no sospechan siquiera la trascendencia filosófica (y aun algo más) de estas afirmaciones que, como es fácil ver, destruirían el argumento filosófico más fuerte para probar la existencia de Dios y el más fuerte, si no único, para demostrar la fuerza probativa del **milagro**.

Voy a ensayar a desarrollar, de la manera más accesible que pueda para personas poco iniciadas en estos estudios, y sobre todo en la forma matemática, con que se presentan, los dos puntos siguientes:

§ 1.º Cómo ha llevado la experimentación sobre los fenómenos atómicos a la teoría estadística y probabilista de Heisenberg y Born. — Maneras de expresarse de éstos y otros muchos investigadores modernos sobre el principio de *causalidad* y de *ley física*.

§ 2.º Indicaciones sobre el verdadero significado físico de la mecánica estadística. — Interpretación de De Broglie y de Schrödinger. — El concepto de *densidad de probabilidad* y *onda de probabilidad*, el de *quantum* en la teoría de Dirac y la mecánica estadística de Bose, son una prueba de que lo que se designa por *probabilidad* no excluye el concepto de causalidad ni el de ley física determinada *entre ciertos límites*.

§ 1.º

Asistimos a una verdadera revisión de toda la física matemática, revisión exigida por una doble categoría de hechos observados.

Por una parte, las modificaciones que experimentan los campos eléctrico y magnético y sus efectos mecánicos en el seno de los medios animados de velocidades enormes, han conducido a una nueva forma de la mecánica, llamada **relativista**, que teniendo como caso particular a la mecánica clásica, cuando se trata de velocidades moderadas, difiere de ella en varios conceptos fundamentales, cuyas consecuencias sólo se manifiestan para velocidades próximas a la de la luz, siendo uno de los más importantes la dependencia entre la *masa* y la *velocidad*, la *masa* y la *energía*, y la insospechada relación entre la mecánica y la óptica, manifestada por la consecuencia de que ningún cuerpo puede tomar velocidades superiores a la de la luz.

En una dirección precisamente opuesta y en el terreno reducidísimo de los fenómenos atómicos y moleculares, un sinnúmero de hechos, cuya sola descripción y bibliografía ha sido objeto de volúmenes extensos (1), se han ido mostrando cada vez más rebeldes a una explicación, no sólo derivada de la mecánica clásica, sino aun de la relativista. Ya desde los últimos años del siglo pasado las experiencias de J. S. Townsend, J. J. Thomson, Wilson y, sobre todo, de Millikan y de su escuela, continuadas después hasta hoy, han demostrado de

(1) Véase, por ejemplo, el t. 13 de *Handbuch der Physik*.

una manera incontrovertible la existencia física del *electrón* como masa indivisible de quien toda masa eléctrica es un múltiplo, con $4,77 \times 10^{-10}$ unidades electrostáticas de masa eléctrica negativa y una masa inerte de 9×10^{-28} gramos. Combinados estos estudios con innumerables hechos de carácter químico, espectroscópico y, sobre todo, radioeléctrico, y en especial por los hechos descubiertos por Rutherford, han dejado fuera de duda que todos los cuerpos conocidos están constituídos por grupos de estos electrones medidos por Millikan, unidos por un mecanismo desconocido a una masa eléctrica positiva, llamada *protón*, de idéntica carga eléctrica que el conjunto de sus electrones y de una masa inerte 1,847 veces mayor que la del electrón. Las personas ajenas a estos estudios no tienen ninguna idea del número y precisión de las medidas que han conducido a estas cifras.

Puede decirse que durante los treinta primeros años de este siglo se ha creado una nueva y originalísima técnica experimental de que el lector no podría formar idea con lo que es posible indicar en un artículo, y por tanto podría consultar alguna obra de resumen como la que acabamos de citar. Gracias a esta técnica, ya en 1900 llegó Plank a la conclusión, sin explicación posible dentro de las ideas clásicas, de que toda *radiación*, desde las lentas vibraciones caloríficas hasta las ultravioladas, más aún, desde las ondas eléctricas de radiotelefonía (de 100.000 períodos por segundo) hasta los rayos Röntgen duros (con algunos trillones de oscilaciones por segundo), toda radiación se compone de cantidades *elementales discretas* o elementos de energía, llamados hoy vulgarmente **photones** (o fotones), cada uno de los cuales, medido escrupulosamente, resultó ser constante y regularmente igual a la *frecuencia* (número de oscilaciones por segundo) de la radiación, multiplicada por un factor de proporcionalidad o constante energética universal, llamada constante de Plank e igual a $6,55 \times 10^{-27}$ unidades cegesimales.

La existencia física del fotón es hoy un hecho incontrovertido, y los delicados experimentos debidos a Lenard, Millikan, Elster, Geitel, Meyer, Jerlach, Ramsauer, Richardson, Compton (1), etc., etc., han

(1) Véase la obra citada, p. 103, que da una ligera descripción de estos y otros muchos experimentos y de sus resultados.

demostrado que cada fotón se transforma en la energía eléctrica de *un solo electrón*, y en cambio el estudio de los rayos Röntgen (X), producidos por rayos catódicos (corriente de electrones animados de una energía cinética perfectamente medible, habiendo sido, además, posible *aislar* y observar separadamente cada electrón) ha demostrado que la energía cinética de un electrón al chocar contra una pared se transforma precisamente en un *fotón*.

Este debe, pues, ser considerado como un *átomo* de luz, es un verdadero corpúsculo dotado de masa inerte mientras está en movimiento, y que se *anula* en cuanto el corpúsculo no se mueve o se mueve con una velocidad distinta de la luz. La masa inerte de un fotón está dada por una fórmula designada con el nombre de ley de Einstein, que es la siguiente:

$$m = \nu \frac{h}{c^2} = 2,27 \times 10^{-48} \nu,$$

donde ν es la frecuencia de la radiación, h la constante de Plank y c la velocidad de la luz, o sea 300.000.000 de metros por segundo. Es decir, que los fotones de la luz ordinaria tienen una masa inerte de 10^{-33} de gramo (es decir, la unidad dividida por la 33 ava potencia de 10), o sea unas 100.000 veces menos que el electrón.

Se ha estudiado el choque de los fotones con los electrones y protones, y se ha demostrado que este choque está sujeto al principio de la conservación de la energía.

Cuando en 1911 los estudios experimentales de Rutherford sobre el paso de los rayos X a través de láminas metálicas demostraron la existencia en cada átomo, no sólo en los cuerpos gaseosos, sino también en los sólidos, de un núcleo positivo, rodeado de electrones negativos, y se puso de manifiesto la dependencia íntima que existe entre la *constante espectroscópica* de Rydberg y la *constante energética* de Plank, no pudo ya ponerse en duda que ésta no era solamente una constante óptica, sino que era una constante *física* universal; que era lo que podría llamarse el *átomo de energía* que se mantiene invariable e indivisible en todas las transformaciones de ella y de quien son múltiplos enteros todas las cantidades de energía que existen en la naturaleza. Esta es la cantidad llamada por Plank *quantum*. Su teoría se llama teoría de los *quanta*.

Para coordinar estos hechos imaginó Bohr su conocida hipótesis

que imagina al átomo como un microscópico sistema planetario, en el que un cierto número de electrones, atraídos por un núcleo positivo o protón, describen órbitas con arreglo a las leyes de la astronomía clásica. Este movimiento es lo único hipotético en la teoría de Bohr, puesto que ni la existencia de los núcleos y electrones, ni el número y masa de éstos, ni las dimensiones atómicas son hipotéticas, sino hechos accesibles a la experimentación. La ecuación fundamental que permitía deducir consecuencias numéricas de esta hipótesis y compararla con los resultados de la experiencia es

$$2\pi p a = hn$$

siendo $p = mv$ el impulso mecánico de cada electrón, o sea el producto de su masa inerte por su velocidad lineal, a el radio de la órbita, h la constante de Plank y n un número entero cualquiera. Esta ecuación hipotética dice que 2π veces el *momento del impulso* de un electrón es un múltiplo entero de la constante de Plank. De esta hipótesis resultaba que el diámetro de las órbitas electrónicas variaba por causas desconocidas en cantidades discontinuas, siendo siempre del orden de unas 5 mil millonésimas de centímetro, con velocidades lineales del orden de los 2.000 kilómetros por segundo, dando también por segundo $6,58 \times 10^{15}$ revoluciones; es decir, 6.580 billones de vueltas por segundo. A pesar de que innumerables hechos físicos y químicos se explicaron no sólo cualitativa, sino cuantitativamente, sobre todo los fenómenos de absorción y emisión de las rayas espectrales y sus modificaciones bajo la acción de los campos magnético y eléctrico, etc., en cambio quedaban otros muchos hechos no sólo inexplicados, sino aun en abierta contradicción con algunas leyes físicas ciertas; tal era, entre los primeros, la *cuantificación* de las trayectorias (es decir, el que éstas, al variar, saltan discontinuamente de un diámetro a otro, existiendo entre éstos una relación numérica fija); y entre los segundos, el hecho de que un electrón en movimiento a lo largo de la órbita, una vez cuantificada, no emitiese *radiaciones* ningunas, en contradicción con toda la teoría y las leyes clásicas de Maxwell, Ampère y Faraday.

Por esto, tras numerosos esfuerzos por sostener la teoría de Bohr, especialmente en el terreno de los fenómenos químicos, ha ido siendo cada día más abandonada. En medio de esta desorientación aparece la

audacísima y original teoría de De Broglie y Schrödinger, por un lado, y casi simultáneamente la de Heisenberg, Born y Jordan, que, partiendo de conceptos filosóficos absolutamente diversos y hasta casi antagónicos, llegan a una misma teoría matemática que coordina y armoniza de una manera maravillosa todos los hechos hasta hoy conocidos y medidos. En ambos sistemas se cambia radicalmente el concepto fundamental, no solamente del fotón, sino también del electrón y del protón. La nueva teoría comprende, como casos particulares, a la mecánica relativista y a la clásica.

Es extraordinariamente difícil dar en pocas palabras una idea de estas teorías. Ensayaré, sin embargo, a hacerlo.

Las dos teorías de Schrödinger y Heisenberg han venido a parar a un mecanismo o formulismo matemático idéntico, con la circunstancia enteramente curiosa de que el *significado* de las cantidades que intervienen en las ecuaciones es absolutamente diverso y, por tanto, lo son también los raciocinios mediante los cuales se viene a caer en dicho formulismo.

La ecuación fundamental de ambas teorías es la siguiente:

$$\Delta\Psi + \frac{8\pi^2m}{h^2} (E - V) \Psi = 0 \quad [1].$$

Donde Δ es el operador llamado Laplaciano, definido por

$$\Delta \equiv \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z};$$

m es una constante, h la constante energética de Plank, E una cantidad de energía en ergios (1), que se transporta de un punto a otro del espacio (definido éste por sus coordenadas x y z , con respecto a un sistema de ejes convencionales), y V una función potencial invariablemente distribuída por todo el espacio y que define el campo exactamente como en la mecánica clásica. La cantidad Ψ es, lo mismo para Schrödinger que para Heisenberg, *una variable* que define el estado

(1) Unidad cegesimal de energía igual al trabajo ejecutado por una *dina* (aproximadamente un miligramo) a lo largo de un centímetro.

en cada punto del espacio, de algo preexistente en todo el espacio y sometida en sus variaciones a la única ley [I] de la cual se deduce matemáticamente, por las propiedades especiales de esta ecuación, estudiadas ya desde los tiempos de Hermite y Lagrange, que existe un **cierto número** discontinuo y entero de puntos en el espacio, en los cuales la cantidad Ψ toma valores finitos, pero también discontinuos, que pueden tener signo positivo, resultando entonces dotados de todas las propiedades de los protones o negativos, y serían los electrones, y que para ciertos casos particulares tienen el carácter y propiedades que la experiencia demuestra para los fotones (1). Según los valores atribuidos a las cantidades m , E y V , estos puntos singulares del campo aparecen agrupados en conjuntos dotados de todas las propiedades de los átomos materiales y animados de velocidades muy pequeñas con respecto a la de los fotones (luz), y en todo caso inferiores a ella.

Pero para Schrödinger y De Broglie, Ψ es la densidad de energía almacenada en cada punto de un *substratum continuo* preexistente en todo el espacio que, al variar con arreglo a [I], determina una distribución de la energía cuyos máximos o mínimos, llamados por él *centros energéticos*, constituyen las partículas materiales y hacen sobre nuestros sentidos la impresión de la materia.

Pero para Heisenberg, Born y Jordan el concepto filosófico es totalmente diverso. Ellos parten de la hipótesis de que nos es totalmente imposible predeterminar la cantidad de energía por unidad de volumen (densidad de energía) que existe en cada punto del espacio y que sólo podemos tener una *probabilidad* acerca de ello, y llaman Ψ al número que, según la teoría clásica llamada *cálculo de probabilidades* (2), determina la probabilidad de que en cada unidad de volumen existan n *quanta* de energía. En este sentido nos hablan de *densidad de probabilidad*, y, puesto que Ψ varía de un lugar a otro, nos hablan también de *ondas de probabilidad*, etc., etc.

Para Born, Ψ ni puede significar otra cosa que una probabilidad,

(1) La demostración de esta proposición y algunos casos particulares puede verse en *Anales de la As. de Ing. de ICAI*, 1630, t. 9, p. 171 y ss.; *Estado actual de la teoría electro-ondulatoria de la materia*, por J. A. PÉREZ DEL PULGAR, S. J.

(2) El lector que no tenga a mano otras obras, puede ver el artículo de la *Enciclopedia Espasa* sobre esta palabra, que está bastante bien escrito.

ni es preciso que signifique otra cosa, pues ello sólo explica perfectamente todos los hechos. Heisenberg (1) deduce de aquí y trata de demostrar que *es enteramente insostenible una concepción determinista y causal de los hechos naturales*, y que sólo podemos hablar de probabilidades, bastando ésta para explicar todos los fenómenos naturales. Haas (2) dice: «La nueva física ha establecido la *indeterminación absoluta* de los fenómenos atómicos frente al antiguo principio de causalidad que aparecía regir los fenómenos físicos de todo el orden macroscópico» (p. 162).

«Para muchos conceptos fundamentales de la Filosofía natural abren las nuevas teorías físicas la posibilidad de un cambio esencial, y principalmente para los conceptos de causalidad y de Ley natural.... El Principio de causalidad ha perdido su significado antiguo en el terreno de la Física.... y en el centro mismo de todas las cuestiones de interés vital para la Filosofía natural se presenta cada día más imperiosa la cuestión candente; ¿en toda la naturaleza existen verdaderamente leyes fijas que no se puedan reducir a meras *leyes estadísticas*, que reducirían la física a la categoría de una de las ciencias sometidas simplemente al *Cálculo de las probabilidades*, como, por ejemplo, la Economía nacional?» (p. 163) (3).

De manera análoga se expresa Frenkel en una obra clásica (4), en el capítulo I, § II, *Der Wahrscheinlichkeitsbegriff und das Kausalitätsprinzip* (p. 36), donde se encuentran constantemente afirmaciones como la siguiente: «Pero si se quiere examinar el contenido real de los hechos físicos observados en la mecánica atómica....., se pueden considerar las ondas generadoras de la materia como meras *ondas de probabilidad a las que no corresponde ninguna realidad física (sic) y entonces es preciso sustituir el concepto causal y determinista de los procesos mecánicos por otro completamente probabilista o no causal.*»

«La antigua mecánica determinista no conocía más que la probabi-

(1) W. HEISENBERG, *Über den anschaulichen Inhalt der quanten theoretischen Kinematik und Mechanik*. Zeits. f. Phys., 43, 1927, p. 172.

(2) *Materienwellen und Quantenmechanik*. Leipzig, 1929.

(3) Véase P. JORDAN, *Kausalität und Statistik in der modernen Physik*. *Naturwiss.*, 15, 1927, p. 205; M. PLANK, *Physikalische Gesetzmäßigkeit im Lichte neuerer Forschung*. *Naturwiss.*, 14, 1926, p. 249.

(4) J. FRENKEL, *Einführung in die Wellenmechanik*. Berlín, Springer, 1929.

lidad igual a 1 o a cero. Se ocupaba en la determinación de los hechos cuya probabilidad era igual a la *unidad*, mediante la integración de ciertas ecuaciones diferenciales (leyes necesarias), cuyas condiciones iniciales suponía perfectamente determinadas. La nueva mecánica ignora absolutamente lo que son estas condiciones iniciales: la alternativa clásica — o **necesario** o **imposible** — es desconocida para ella. *Todo es considerado como posible*. Ella no conoce ni la probabilidad 1 ni la 0, sino sólo probabilidades comprendidas entre estos valores extremos.... Se ocupa en el estudio de todas las incidencias posibles e imaginables. En aquellos casos en que la probabilidad alcanza valores grandes, el hecho se considera *no como necesario*, sino como *muy verosímil*, y éstos son los *hechos que ordinariamente ocurren*.»

«Este indeterminismo no se manifiesta en los fenómenos macroscópicos, donde interviene un número enorme de hechos microscópicos, por la **ley de los grandes números** (1), por la cual, aquí como en las leyes que rigen a las sociedades humanas, donde interviene la voluntad libre de cada individuo, lo indeterminado, libre o casual que ocurre en los individuos, desaparece al sumarse, y de un conjunto de hechos indeterminables individualmente, resulta una ley de conjunto determinada y aparentemente sujeta al principio de causalidad y al determinismo natural.»

«Del carácter determinado de los hechos macroscópicos se creía poder concluir que también los procesos elementales o microscópicos debían estar regidos por dichos principios. Pero éste era un prejuicio enteramente infundado (como lo ha demostrado la aparición de la nueva mecánica ondulatoria), del que comienza ya la ciencia a verse libre.»

Sería muy fácil multiplicar las citas; pero basta lo dicho, no (claro está) para que el lector se haga cargo completo del valor experimental y teórico, ni aun siquiera del encadenamiento lógico y estricto de las ideas en estas nuevas investigaciones (cosa que podría, sin embargo, conseguir, consultando las obras citadas), pero sí para que se dé alguna cuenta de las conclusiones a que se creen autorizados a llegar

(1) Dice así: «El valor medio que toma una cantidad física que define un fenómeno ocurrido n veces, difiere tanto menos de su valor más probable, cuanto n es mayor.» Puede verse *Espasa*, «Probabilidad».

los investigadores modernos, apoyándose en un número inmenso de hechos y de teorías matemáticas, que no es del todo fácil desenmarañar. No siendo, además, nuevo el concepto de ley estadística aplicado a los fenómenos físicos, y habiéndose ya fundado en él teorías tan importantes como la cinética de los gases, la electrónica de Drude y Thomson, la magnetónica de Abraham, la termoiónica de Curie, etc., etcétera....., y conduciendo ella a las consecuencias que hemos apuntado ligeramente, no creemos que la filosofía cristiana deba permanecer indiferente y desinteresada de esta cuestión candente, que apasiona hoy a todo el mundo científico.

JOSÉ A. PÉREZ DEL PULGAR

(Continuará)