

PROBABILÍSTICA Y TIEMPO

Por JOSE PEMARTIN

MACROCOSMOS Y MICROCOSMOS

La evolución de la gran Ciencia Física moderna se revela como una resolución progresiva del macrocosmos en microcosmos. A la Astronomía y Mecánica macrocósmica de Fuerzas y Masas—toda ella desarrollada en lo que pudiera llamarse el Mundo exterior—sucedió pronto una Química que afloraba al exterior, es decir, a nuestros sentidos, con las cualidades llamadas «físicas» de los cuerpos—color, sabor, dureza, densidad, etc.—pero que se sumergía y se resolvía rápidamente en un mundo invisible—puramente imaginado aunque teóricamente coherente—de moléculas y átomos con sus misteriosas afinidades, valencias, funciones químicas y combinaciones infinitesimales ocultas, enlazadas, por otra parte, al mundo físico macrocósmico, por los equivalentes energéticos, y la teoría cinética de los gases. Ulteriormente, el electro-magnetismo—que Maxwell identifica con la luz en sus ecuaciones célebres—nos sumerge ya, totalmente, en el mundo invisible. Y todas las ingentes actividades dinamo-eléctricas del mundo—desde los tranvías que circulan tan macroscópicamente por las calles, hasta las innumerables radios, que comunican ruidosamente las melodías y noticias de los cuatro continentes—extraen, secreta y calladamente, sus energías operativas, de unas inmensas reservas energéticas, invisibles, inaparentes, sutilísimas y potentísimas, compuestas—teórica e imaginativamente también—por miríadas de miríadas de «corpúsculos-ondas», electrones, positrones o neutrones del orden de la billonésima de milímetro de diámetro, que, en enjambres de millones de millones, vibran a razón también de millones de millones de veces por segundo; base sutilísima, infinitamente móvil y cambiante—la «mutabilidad universal» de que nos habla S. S. el Papa Pío XII en reciente Discurso—de donde surgen las estabildades y permanencias relativas, de aquel antiguo triple Reino, mineral, vegetal y animal del «meso-cosmos» en el que vive el hombre, con toda la infinidad de riqueza morfológica del Universo visible y sensible.

LA PROBABILÍSTICA, ARTICULACION ENTRE AMBOS MUNDOS

Y he aquí que entre ambos mundos—el macroscópico con sus leyes estables y sus observaciones experimentales precisas y exactas, y el microscópico, con su infinita e incierta variabilidad, su observabilidad indirecta (Espectroscopia) o individualísticamente indeterminable (Principio de Heisenberg)—viene la Probabilística, la Ley de los grandes números, las Leyes estadísticas, a interponer su proceso sintetizador o integrador. Del mundo de la infinidad de pequeñez, de la infinita movilidad, de la inobservabilidad, de la indeterminación, se pasa al mundo estable, regulado, determinable, observable sensiblemente, por medio de la Probabilística, más o menos hipotéticamente comprobada, «a posteriori», por las estadísticas. El gran número colectivo suple a la indeterminación individual. Como para un general es algo infinitamente más significativo y útil un informe en el que se le instruya sobre las posiciones, marcha, comportamiento de divisiones o cuerpos de ejército, y sería un embrollo irresoluble una parte en el que se describiera individualmente la situación de cada soldado, para el Físico de hoy la probable posición resultante del conjunto de una infinidad de acaeceres atómicos o electrónicos (inobservables individualmente, pero sujetos a ciertas hipótesis iniciales de comportamiento o configuración) traduce en leyes y resultados macrocósmicos, comprobables y útiles, la indeterminación microscópica, pero infinitamente dinámica y móvil, invisible e inobservable del sutilísimo y potentísimo fundamento electro-energético que se supone a la base del Mundo.

PIEZAS DE LA ARTICULACION.—LA TEORÍA CINÉTICA DE LOS GASES

Tres piezas principales nos parece pueden destacarse como «ejemplo» de esta articulación epistemológica de estos dos mundos. La primera, la más cercana de las tres—si puede decirse—al «mesoccosmos» en que vivimos, es la Teoría cinética de los gases.

Recordemos algunas características destacadas, bien conocidas, de esta importantísima teoría que ha servido de modelo para amplios desarrollos ulteriores.

1.° *Bases hipotéticas.*—Se supone—no ha podido, naturalmente, comprobarse nunca directamente—que un centímetro cúbico de gas, a la presión atmosférica y temperatura normal, entre 20° y 30°, por ejemplo, contiene 3×10^{24} (treinta billones) de moléculas de aproximadamente tres millonésimas de milímetro de diámetro. Estas moléculas supondremos se mueven con una velocidad media de unos 300 metros por segundo (lo que para un hombre de dos metros de alto supondría, en proporción a su altura, una velocidad de 200.000.000 de kilómetros por segundo). Y como resultado de estos movimientos, cada molécula experimentaría unos 5.000.000 de choques por segundo. De esta energía cinética resulta la temperatura del gas, y de los choques contra las paredes del recipiente, la presión.

2.° *Resultados macrocósmicos comprobables.*—De esta inmensidad casi impensable de movilidad infinitesimal, la Ciencia deduce, como consecuencias muy probables, resultantes de la probabilística, por un lado, y comprobables macrocósmicamente por otro: a) Las Leyes de Boyle-Mariotte, de relación de la Presión y Volumen de los gases a temperatura constante, y la de Gay-Lussac de dilatación de los gases, sintetizadas en la bien conocida fórmula $P \cdot V = R \cdot T$ b) El famoso teorema de la Entropía, uno de los «puntos-clave» de la concepción científico-filosófica del Universo, por el cual tiene éste una dirección temporal irreversible en su desarrollo; se marca la *flecha del tiempo*, según la expresión de Eddington. c) Las modernísimas comprobaciones que se han realizado sobre la conductibilidad calorífica y eléctrica de los metales (Ley de Weidman-Franz) y sobre el efecto termo-eléctrico, una vez modificadas las hipótesis estadísticas de Boltzman y Gibbs, por las de Bose-Einstein, para fotones, y de Fermi-Dirac, para enjambres electrónicos.

3.° *Estructura probabilística de enlace.*—Entre ambos mundos—el de las hipótesis microscópicas y el de las comprobaciones macroscópicas, a escala humana—establece su enlace lógico-explicativo la «probabilística». Hasta los trabajos de Boltzman, las Leyes de los Gases y la de la Entropía se tenían por leyes exclusivamente experimentales, y, especialmente la última se consideraba como un arcano misterioso del mundo físico; y su asimetría temporal característica chocaba violentamente con la simetría absoluta y reversible, con relación al tiempo, de las ecuaciones de la Mecánica clásica. La probabilística introducida por Boltzman en sus famosos trabajos conduce a la fórmula bien conocida:

$$S_2 - S_1 = K \cdot \log p_2/p_1$$

(S_2 y S_1 entropías del sistema a los instantes 1 y 2. P_1 y P_2 probabilidades deducidas de ciertas hipótesis sobre las posiciones y velocidades de las moléculas). S_2 es siempre mayor que S_1 (la entropía es siempre creciente). De donde se deduce que p_2 debe ser mayor que p_1 ; es decir, que al crecer la entropía se pasa de un estado hipotético menos probable—de probabilidad caracterizada por las supuestas posiciones y velocidades de las moléculas—a otro estado más probable.

EXTRAPOLACION TEMPORAL

Ahora bien, Boltzman calculó el tiempo que habría de transcurrir para que fallara la Ley de la Entropía, por la inversión de esta relación de probabilidad. El tiempo necesario para que, por ejemplo, en un gas, mezcla de otros dos, inicialmente a temperaturas distintas—y por consiguiente, al cabo de cierto tiempo, que formarían un todo a temperatura media uniforme—, el movimiento de las partículas llegara a restablecer la diferenciación inicial, y disminuyera la entropía. El cálculo dió una cifra superior a 10^{10} (La unidad seguida de 100 ceros) como número de años. Este número de años sobrepasa ampliamente, *de hecho*, toda posibilidad concreta de que la Ley de la Entropía creciente resulte en defecto. Pero de derecho no. Queremos decir que basta con imaginar un hombre viviendo en un tiempo suficientemente veloz, un «Gulliver temporal» gigantesco, para el que ese número de años equivalga—en su reloj «gulliveriano»—a una hora de las nuestras, para que nuestro sabio Gulliver tenga la Ley de la Entropía—con consecuencias incalculables para la vida del Cosmos—, no por una ley de permanencia constante, sino por una ley de ondulaciones periódicas, con una frecuencia de la inversa de una hora de nuestro tiempo, medida en su reloj.

FRECUENCIA LÓGICA Y FRECUENCIA REAL

Con este ejemplo imaginativo y paradójico queremos subrayar dos cosas: 1.° La conveniencia epistemológica de distinguir cuidadosamente entre las *frecuencias lógicas* de hipotéticas comprobaciones estadísticas que marcan, con carácter absoluto (dentro de la relatividad proporcional probabilística), los resultados del Cálculo de probabilidades aplicado a la microfísica, y por otra parte, las *frecuencias reales* de los microacaeceres que aquéllas reemplazan a la base del cálculo. Las primeras se derivan de las hipótesis «arbitrarias» para la *justificación legal, probabilística y micro-cósmica*, que las experiencias macrocósmicas después confirman. Un principio de arbitrariedad es en ellas posible. Las segundas, las *frecuencias reales* de los acaeceres atómicos—inobservables y sustituidas por las primeras—están, ineluctablemente ligadas—a través de la trama causalística general que hace del cosmos un todo solidario de infinidad de entrecruzamientos de series causales—por la medida potencial común de las causalidades cósmicas: el tiempo, al ritmo vital humano, con sus 2.000.000.000 de pulsaciones del corazón en una vida media de sesenta años, y sus 6.000 años —aproximadamente—de Historia.

Ambas series de frecuencias—la lógica y la real—se corresponden, pero no coinciden. Pero deben conservar cierto

paralelismo o convergencia. Dicho de otro modo, no debe extrapolarse la Ciencia indebidamente fuera de lo que llamaríamos «el ámbito vital humano»—no debe «deshumanizarse» demasiado—, so pena de dañar a su solidez epistemológico-filosófica. Como lo muestra la extrapolación imaginada en párrafos anteriores.

2.º Deseamos subrayar también, con esta primera consideración de la probabilística como enlace de los dos mundos científicos, su carácter de recurso o expediente matemático, con lo que se suple a la carencia de una posibilidad explicativa directa en la micromateria. Carácter de símbolo o arbitrio matemático explicativo, que va dejando su huella cada vez más profunda en la epistemología científica moderna, a medida que las complejidades, cada vez más intrincadas de lo real, van necesitando de sustitutivos más abstractos en lo lógico-matemático.

UNA SEGUNDA PIEZA DE LA ARTICULACION PROBABILISTICA. LA ECUACION DE ONDAS DE SCHRODINGER

En esta charnela o articulación que señalamos entre el mundo macrocósmico y el microcósmico, en el que la probabilística juega un cometido cada vez más importante—hoy día pudiera decirse que casi exclusivo—debemos, asimismo, señalar como pieza importantísima—la más importante probablemente de la Física de hoy—la ecuación de ondas de Schrödinger, en la que la probabilística juega tan íntimo y extraño papel, pero con una distinción clarísima—tal y como la preconizamos en los párrafos anteriores—entre lo ideal o lógico y lo real en la estructura de la formulación. La ecuación bien conocida se escribe esquemáticamente

$$\left(\frac{d^2}{dx^2} + \frac{d^2}{dy^2} + \frac{d^2}{dz^2} \right) \psi + \frac{8\pi^2 m}{h^2} (E-V) \psi = 0$$

en la cual recordamos que ψ es una función que representa la amplitud de la onda de probabilidad, que acompaña al fotón o corpúsculo. Onda de probabilidad de presencia del fotón individual en un punto dado del espacio y del tiempo.

Pero como se ha hecho notar tantas veces, esta probabilidad de presencia, representada por una fórmula ondulatoria, implica para aquélla una «ondulación lógica» o mental independiente de la trayectoria real indescriptible del corpúsculo. Por eso vemos que la onda asociada a un electrón puede, según el cálculo, alcanzar velocidades muy superiores a los 300.000 kilómetros por segundo, límite superior einsteiniano de aquéllas. Y que ondulan en los espacios configurativos de múltiples dimensiones, de Dirac (espacios de 276 dimensiones en el caso del uranio, por ejemplo).

Se pone, así, bien de manifiesto, en la fórmula central de la Física ondulatoria de hoy, esa distinción, que estimamos importante en una recta epistemología entre los elementos lógicos o ideales, que podemos escoger, hasta cierto punto, arbitrariamente; y los elementos reales que nos imponen los acaceres y cuya involuación posible, como en el caso señalado de las frecuencias—no tanto en la formulación científica, en la que es inverosímil, sino más bien en las consecuencias filosóficas, tan copiosas hoy—conviene evitar. En la gran abstracción y profundidad a la vez de la gran transformación científica del día, un cuidadoso calibrado de los elementos heterogéneos que en ella se integran nos parece de interés epistemológico evidente.

UN TERCER EJEMPLO: LAS DESINTEGRACIONES E INTEGRACIONES ATOMICAS Y EL AZAR

Un tercer ejemplo de la necesidad de una clara distinción entre los elementos lógicos y los reales, que la probabilística pudiera contribuir, en cierto modo, a involucrar—y que, en el ejemplo que nos ocupa ahora, puede conducir a graves tergiversaciones filosóficas—nos lo proporciona la consideración de las emisiones radiantes de partículas α y la duración de vida de los cuerpos radioactivos; así como la posible integración o creación fortuita, por combinación, de nuevos cuerpos. Sabido es que en la desintegración por radiación los núcleos atómicos lanzan constantemente al espacio, con una frecuencia variable según el cuerpo de que se trate, entre otras radiaciones, principalmente partículas α ; partículas que para poder lanzarse al espacio necesitan franquear una barrera electrostática llamada barrera o pozo de Gamow. En general, el potencial de esta barrera eléctrica es superior al de las partículas. Y en Mecánica «no probabilística» las partículas nunca podrían franquearla. Pero el potencial de las partículas está sujeto a un margen de probabilidad que marca la fórmula de Schrödinger, y después de millones de millones de intentos centrífugos irrealizados, llega uno de ellos, en el que la probabilidad es favorable, y la partícula irrumpe en el espacio.

Comentando un tal proceso se lee frecuentemente en libros de divulgación científica, o en sus comentadores, líneas como las que siguen: «Nada en un átomo particular de Uranio, por ejemplo, permite prever cuándo una partícula va a saltar del núcleo. Lo mismo puede continuar así millones de años. Pero en un momento dado salta por azar. Y como hay millones de partículas intentando el salto por segundo, en millones de átomos, se puede calcular el resultado estadístico que nos da la vida media del Uranio. La desintegración espontánea de elementos y la formación de otros nuevos derivados de aquéllos, sería pues, un efecto del azar regulado por leyes probabilístico-estadísticas, como la ley de los grandes números.»

Igual confusión se revela en las ideas cosmogónicas de formación del Universo que se exponen. Para la generación de un átomo, por ejemplo, añadiendo neutrones a protones «cuyo procedimiento parece ser el seguido por la Naturaleza para elaborar los tipos atómicos que nos rodean», se puede conseguir cierta masa adecuada y cierta carga eléctrica positiva en el núcleo, característicos de algún átomo determinado; y este núcleo, rodeado de la cosa satélite electrónica conveniente constituirá, entre miríadas y miríadas de otros, uno de esos pequeños sistemas planetarios, edificios micro-mecánicos que se pueden formar por millones en milésimas de segundo, y de los que irán permaneciendo los que tengan mayor estabilidad.

Según estas orientaciones, una especie de materia prima infinitamente dividida, substanciada parcialmente por una forma energética dieléctrica, un inmenso sistema atomístico, electrodinámico, de 10^{76} elementos (número de electrones del Universo calculado por dos métodos distintos, por Eddington y De Sitter) en su infinidad de combinaciones produciría, por azar, la maravillosa ordenación del Universo en que vivimos.

Contra una tal concepción que hace del Universo un mundo a-causalístico, numerosos físicos y filósofos se elevan: Sir James Jeans, Eddington, Max Planck, Einstein, Schrödinger, para no citar sino a los más ilustres. El principio de causalidad está enraizado en el fondo mismo de la Ciencia, en nuestro mismo comportamiento vital. El filósofo Maritain nos dice: «el sabio afirma, *in actu exercito*, en el ejercicio mismo de su actividad científica el valor del principio de causalidad... Si no estuviera prácticamente seguro de que todo lo que acontece tiene una causa, no se dedicaría a su trabajo de investigación, no lo comenzaría siquiera» (1).

Pero además de estos testimonios valiosísimos en pro de la causalidad cósmica del «anti-azar», como lo llama Eddington, vamos a concretarnos, para terminar, en unas consideraciones sobre el tema mismo de este artículo: la probabilística y el tiempo.

EL AZAR IMPENSABLE

La concepción que, en efecto, supone un cosmos puramente debido al azar se basaba, en suma, en la idea esquemática de una gigantesca combinatoria de los 10^{15} electrones que lo componen, que repiten sus ensayos o intentos combinatorios en un tiempo indefinido, etc. Ahora bien, el fallo de esta concepción reside, precisamente, en la indefinición del tiempo. Porque—además de que la determinación de ese misterioso exponente 15 (o cualquiera que sea), que limita numéricamente al Universo, hace presuponer una determinación análoga en el tiempo; es decir, un comienzo o creación—una combinatoria indefinida, eterna y sin principio en el tiempo es, para nosotros, impensable, en relación con el mundo que vivimos, e incluso con cualquier determinación cósmica. El principio del eterno retorno jugaría de tal modo, que sería imposible determinar este Universo, que se encontraría englobado en una infinidad de universos infinitamente semejantes en los que la idea de terminación, raíz de determinación, estaría excluida. Ahora bien, si este Universo es algo, si algo lo caracteriza, es estar terminado y determinado cada instante en sus últimos elementos formales, sea cual fuere el grado de indeterminación de sus bases.

Se impone, pues—y cada día va marcándose más esta tendencia entre las ilustres mentalidades científicas de hoy—, la otra alternativa. La de un tiempo no indefinido, sino bien determinado: índice de la condición de potencia (o de perfectibilidad) del Cosmos, y coordinado con el tiempo básico humano: con los 2.000.000.000 de segundos de la vida media del hombre. Tiempo que hemos definido en otra ocasión: «la condición de potencia de las causalidades cósmicas explicitada con relación a la potencia existencial humana».

Vemos así destacarse, a la luz de una recta concepción del tiempo, los principios ineludibles del pensar humano, el de Causalidad y el de Razón, que una confusión del tiempo real con el que hemos llamado tiempo lógico o de la probabilística pudiera excluir del Universo. Y así vuelve a recordar toda su fuerza la antigua concepción agustiniana: «Non in tempore, sed cum tempore finxit Deus mundum».

El propósito de estas consideraciones ha sido tan sólo bosquejar una silueta de la Ciencia Física del día, con el Macrocosmos estable resuelto en la infinitesimal movilidad del Microcosmos; y la Probabilística, que sirve de articulación lógico-matemática entre ambos mundos. Y subrayar, como una cierta concepción del tiempo, en esta última, puede alternativamente llevarnos a considerar al Universo como producto de un azar para nosotros impensable, o por, el contrario—de acuerdo con un número muy importante de las mentalidades científicas de hoy—, como resultado de un comienzo o Creación.

Esperamos haber podido señalar, al menos, la importantísima problemática que tales presupuestos entrañan.

(1) Jacques Maritain: *Distinguer pour unir, ou les degrés du savoir*.

