

# En torno de la física

por GUSTAVO LIRA, Ing. Civil

(Discurso de incorporación como Miembro Académico de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile).

La definición más amplia de la Física expresa que es la ciencia que trata de las propiedades y de los fenómenos que presenta la materia inorganizada. Materia, según la definición de Descartes, es lo que ocupa espacio.

Hay dos clases de materia: materia inorganizada y materia organizada; esta última entra en la constitución de los seres vivos.

Es evidente que fenómenos físicos ocurren constantemente en la materia organizada, y presenciamos cotidianamente procesos que están transformando materia inorganizada en materia viva. Pero sabemos que ninguna de estas transformaciones puede verificarse sin la presencia previa de materia organizada, de modo que ignoramos cuándo y por qué ocurrió la primera transformación de materia inorganizada en organizada, sin la presencia de materia viva. Además, hay innumerables fenómenos de la materia organizada, que se engloban en el término genérico de Vida, que se diferencian netamente de los fenómenos físicos: su estudio pertenece a la Biología.

La materia inorganizada presenta en un momento dado una serie de propiedades, cuyo conjunto constituye su estado físico. Si se admite que el estado físico varía cuando varía cualquiera de esas propiedades, es obvio que el número de estados físicos de la materia es infinito. Pero si se restringe el concepto, en el sentido de que hay variación de estado solamente cuando cambian fundamentalmente las propiedades, nos podemos fácilmente poner de acuerdo en que hay tres estados fundamentales de la materia, que son el estado sólido, el líquido y el gaseoso. Este resultado concuerda en cierta forma con el pensamiento griego. Empédocles creía en cuatro elementos constitutivos del Universo físico, de los cuales los tres primeros eran la tierra, el agua y el aire, que son ejemplos típicos de los tres estados fundamentales. El cuarto elemento era el fuego, que quizás para los griegos era un estado más tenue aún que el gaseoso, pues no hay evidencia que en él vieran algo semejante al concepto inmaterial de energía de la Física de hoy.

La materia pertenece al mundo exterior: allí es en donde ocupa espacio, presenta propiedades y es asiento u origen de fenómenos. Si conociésemos la materia, habríamos inquirido sobre la naturaleza íntima de la realidad.

Pero de esta realidad, lo que son las cosas en sí mismas, no conocemos efectivamente sino las excitaciones que produce en nuestros sentidos, efectos subjetivos

que se almacenan en la conciencia y dan origen en ella al mundo interior. Este mundo interior, individual y en parte incomunicable, constituye sin embargo la única realidad de que puede partir la Física.

La Física comienza por establecer por lo tanto una imposibilidad, la de comprobar la identidad de la imagen que construimos en nuestra conciencia para representarnos el mundo exterior, y este mundo exterior. La barrera de separación es infranqueable para la Física; si hay solución para la imposibilidad, ella estaría en los dominios de la Metafísica.

Esta imposibilidad no quebranta la importancia y la utilidad de la Física, porque el modelo que ella da, y que continuamente está modificando, de una realidad que sabe inalcanzable, está construido tanto para la satisfacción espiritual de acercarse a la verdad, como para su aprovechamiento en fines útiles al hombre.

---

La definición de Descartes de la materia parece clara y lógica, porque las cosas deben definirse atendiendo a su propiedad fundamental. En este caso Descartes acudió a la extensión; pudo también ligarla con el tiempo, respecto del cual la materia posee la propiedad, también fundamental, de la conservación; pero en su tiempo este principio no estaba todavía desarrollado.

En cambio, relacionarla con el espacio era un sólido terreno, dado que el espacio parecía estar definitivamente investigado desde Euclides, cuando éste concretó todas sus propiedades en la Geometría, que es sin duda la construcción científica más completa de la Grecia y del mundo antiguo.

La Geometría de Euclides parte de dos o tres axiomas o postulados experimentales evidentes, y sobre ellos construye por deducción el edificio completo de las configuraciones que pueden existir o concebirse en el espacio. El método deductivo, que es el método menos fecundo, condujo en este caso a la realización más perfecta de una ciencia.

Pero hay quienes creen que este éxito tuvo consecuencias desfavorables para el progreso de las ciencias, pues él hizo menospreciar el método inductivo, lo que influyó sobre el desarrollo científico durante quince siglos. El mundo vivió ese largo interregno, si no bajo la influencia verdadera de Aristóteles, seguramente bajo una interpretación de él. En efecto, Aristóteles creyó que los conocimientos se originaban en los sentidos y se utilizaban por la razón; que la ciencia asciende hacia los principios y luego desciende de ellos, y que la dialéctica es útil a la ciencia. No obstante haber sido un observador infatigable y de gran fidelidad, que acumuló todos los conocimientos positivos de la antigüedad, pensó que el intelecto era infalible para alcanzar el conocimiento de los fenómenos, con la mera aplicación de ideas metafísicas de perfección, simetría, forma, sustancia y otras. No es sin significado la leyenda que dice que se arrojó al mar cuando fracasó en la explicación de las mareas que se producen en el estrecho del Euripo, entre la isla Eubea y la Grecia continental.

La reacción contra este sistema vino sólo en el siglo XIII con Roger Bacon, que impresionado por el estagnamiento de la ciencia y la confusión de conocimientos de su tiempo, llegó a concluir que los métodos escolásticos usados y los resultados

obtenidos eran erróneos, y que la filosofía aristotélica no daba frutos, pues servía sólo para discusiones. Propugnó entonces la observación, la acumulación de los hechos observados en torno de una hipótesis, la eliminación de los factores que con su influencia oscurecieran el fenómeno principal investigado, y la comprobación continua de los resultados, por medio de la verificación experimental.

No obstante esta rectificación en el método científico, dos siglos más tarde, en la edad de oro de la Astronomía, Copérnico y Kepler aun no se libraban de la idea metafísica de la perfección del movimiento circular, cuando no de la magia de las siete esferas.

Es seguramente Galileo quien abrazó con mayor decisión el camino del «*Novum Organum*», lo que le permitió echar los fundamentos de la Dinámica, que Newton iba a desarrollar a continuación en forma rigurosa. Para partir de bases precisas en esta tarea, Newton estimó necesario definir el espacio y el tiempo, lo que hizo en su obra «*Principios matemáticos de Filosofía natural*».

---

Todo el mundo, aun el hombre más inculto, tiene idea de estos dos conceptos, pero cuando se piensa en definirlos, se encuentran grandes dificultades.

Aristóteles incluyó el espacio entre las «*categorías*», que son nociones fundamentales que el hombre poseería en su intelecto y que le sirven para la ordenación de los elementos que del Universo le dan sus sentidos. Pero dió una definición que es objetiva del espacio al decir que es «*el límite primario inmóvil de los cuerpos contenidos en él*», de la cual parece derivar, como una inversión, la definición de la materia de Descartes.

Los filósofos modernos, especialmente los ingleses de los siglos XVIII y XIX, se han inclinado más al tratamiento subjetivo del problema, es decir, al análisis de lo que en la conciencia consideramos como espacio y tiempo, sin objetivarlos como cosas del mundo exterior, en donde sin embargo deben tener existencia, y Kant, yendo más lejos, expresó que estos conceptos no están dados por la experiencia, sino que son condiciones de toda la experiencia, proporcionadas por los recursos interiores de la conciencia. Serían, en consecuencia, formas de la sensibilidad misma: de la sensibilidad exterior, el espacio, y de la sensibilidad interior, el tiempo. Este análisis trascendente de Kant, como el análisis subjetivo recordado, son, como se comprende, del dominio de la psicología. Sólo el análisis objetivo pertenece a la Física.

Las definiciones de Newton corresponden, como bases de la Física que son, a este último tipo. Newton definió el espacio absoluto diciendo que «*permanece, en razón de la naturaleza, y sin relación con ningún objeto exterior, rigurosamente igual e inmóvil*», y el tiempo absoluto, diciendo que «*escurre en sí mismo, en conformidad a su naturaleza uniforme, sin relación con ningún objeto exterior, y de modo que su curso no puede ser cambiado*». En estas definiciones, como se ve, se excluyen expresamente los objetos exteriores, es decir la materia, lo que parece una contradicción en el espíritu de Newton que no aceptaba como efectivo sino lo que puede controlarse experimentalmente. Ahora bien, es obvio que lo que no tiene relación con ningún objeto exterior es algo que no puede ser constatado. Además, en tal espacio absoluto es indiscernible y no tiene sentido la posición de un punto, como tampoco,

en el tiempo absoluto, carece de significado el instante en que ocurra un suceso. Para ninguna de las dos cosas habría una referencia en ese doble infinito. Por eso es que Newton definió también inmediatamente un «espacio relativo», y un «tiempo relativo, aparente u ordinario», que salvan, para los objetivos de su utilización, los inconvenientes de los conceptos absolutos.

Hoy día la Física considera que el espacio absoluto y el tiempo absoluto no son la realidad de la Naturaleza, aún cuando corresponden a una representación o imagen extraordinariamente cercana de esa realidad.

En cuanto al espacio, el estudio objetivo de él constituye la Geometría, de modo que en toda Geometría, la realidad espacial se encuentra implicitada en las propiedades de las configuraciones (formas y volúmenes) que esa Geometría haya podido establecer. Para la Física, en consecuencia, la Geometría de Euclides ha definido un espacio. Del mismo modo, la Dinámica de Newton ha definido un tiempo. Son ambos, precisamente, el espacio absoluto, para el cual, y sólo para el cual son válidos los postulados indemostrables de la Geometría de Euclides, y el tiempo absoluto, para el cual, y sólo para el cual, es válida la ley de la inercia. Y si en los tiempos actuales se ha podido establecer que ni el espacio ni el tiempo poseen realidad, aisladamente considerados, y que sólo la posee el conjunto espacio-tiempo, ello significa que la Geometría de Euclides no es exacta, como tampoco debe serlo la Dinámica de Newton.

En las nuevas concepciones, es precisamente la materia la causa del cambio.

El espacio de Euclides y el tiempo absoluto de Newton existen en ausencia de la materia: tan pronto como la materia aparece, el espacio absoluto e infinito se deforma y se limita y el tiempo absoluto desaparece, para dar lugar a los tiempos locales particulares de cada sistema material. Esta revolución profunda es la esencia de la relatividad.

---

Las bases de esta revolución no son especulativas sino experimentales: han derivado, podría decirse con propiedad, del resultado de medidas que naturalmente sólo la técnica moderna ha podido realizar con la precisión enorme que era necesario usar para poner de manifiesto la diferencia que hay entre la realidad y lo previsto según los modelos de Euclides y de Newton. No cabe aquí dar los detalles de la célebre experiencia de Michelson, que comprobó en efecto, para la velocidad de la luz, una disconformidad evidente con el principio de equivalencia de la Mecánica de Newton, que es una consecuencia de la existencia del espacio de Euclides y del tiempo absoluto. Tampoco se conformaba el resultado de esa experiencia con la existencia de un éter cósmico infinito e inmóvil, que llenaría el espacio, y que fué una hipótesis de la Física extraordinariamente fecunda para la comprensión de los fenómenos ondulatorios de la energía radiante, y el desarrollo de las teorías correspondientes.

Todo el edificio fundamental de la Física fué entonces estremecido, y los físicos se dieron a la tarea de buscar una explicación de las anomalías encontradas. Surgieron entonces las célebres interpretaciones de Fitz Gerald y Lorentz que se han llamado de la contracción de las reglas de medida y de la retardación de los relojes o dilatación del tiempo. Estas interpretaciones eran eficaces en cuanto con ellas el extraño

resultado de la experiencia de Michelson quedaba ajustado formalmente, pero ellas constitúan sólo un artificio matemático para resolver la dificultad, sin significado físico alguno. La Matemática mostró así su eficacia como herramienta de trabajo que es, pero no dió interpretación a la corrección proporcionada.

Es entonces cuando se hace presente el genio de Einstein con sus atrevidas postulaciones. Desde luego observó que la experiencia de Michelson constituía en su esencia una tentativa de constatación de un movimiento referido a un sistema en reposo absoluto, como era el éter cósmico, y que si la experiencia había conducido a una contradicción, era porque la cosa buscada no existe; afirmó en consecuencia la inexistencia del éter cósmico. En segundo lugar afirmó que las interpretaciones de Fitz Gerald y Lorentz no eran meros artificios de Matemáticas, sino que representaban una realidad física, pero que para desentrañar ésta, era necesario volver sobre las premisas sobre las cuales estaba razonando hasta entonces la Física. Como estas premisas no son otras, para el caso, que la existencia del espacio de Euclides y del tiempo de Newton, que son un espacio y un tiempo absolutos, independientes de los sistemas físicos, era necesario revisar estos conceptos, lo que hizo con el resultado de que ellos tampoco existen independientemente.

Los razonamientos que es necesario hacer para esto último, no tienen, como generalmente se cree, una complicación que exija profundos conocimientos matemáticos para seguirlos. Por el contrario, son tan simples que asombra, dice Max Born, que se hayan necesitado siglos para caer en una cosa tan sencilla. En efecto, con razonamientos elementales, se puede mostrar que es imposible comparar dos reglas de medida que pertenezcan a sistemas distintos que se mueven, sin ayudarse de relojes, como también, que para comparar el isocronismo de dos relojes que se encuentran en puntos distintos del espacio, es necesario valerse de reglas de medida. O sea que para investigar el espacio es menester usar de los instrumentos con que se mide el tiempo, así como inversamente para investigar el tiempo, es menester ayudarse de reglas de medida, que son instrumentos de investigación del espacio. ¿Qué mayor prueba que ésta, de la interdependencia indestructible de estos dos conceptos, y de la imposibilidad de su existencia separada, ni como formas de la sensibilidad como lo postuló Kant, ni como realidades posibles de definir como lo intentó Newton?

Consecuencia de esta dualidad es también que la simultaneidad de dos acontecimientos sólo puede precisarse cuando ellos ocurren en el mismo punto del espacio, y que la simultaneidad de lo que ocurre en puntos distintos es indiscernible y no tiene por lo tanto significado para la Física.

Digamos, además, sin mayores detalles, porque ello ya exige una crítica más precisa de la Dinámica, que el espacio absoluto y el tiempo absoluto sólo pueden existir para un éter infinito e inmóvil, desprovisto de materia, lo que explica que la concepción relativista de Einstein haya afectado al mismo tiempo a estas tres entidades.

Sin darle mayor importancia, señalemos que tenemos la intuición relativista cuando en el lenguaje corriente hablamos de «espacios de tiempo» o de «tiempos distantes», expresiones en que aplicamos cualidades del espacio para expresar duraciones de tiempo o damos ubicación, que es concepto espacial, a los tiempos; como es relativista también la expresión del poeta que mirando la bóveda celeste veía en ella a Saturno, describiendo un lento arco, en donde el adjetivo es una idea de tiempo, y el sustantivo es un elemento geométrico y por lo tanto de espacio.

¿Qué consecuencia, aparte de su importancia teórica pura en la concepción de la estructura del Universo, tiene esta corrección relativista de las ideas fundamentales de la Física? La corrección, para muchos aspectos de los fenómenos, es muy pequeña, y ello porque el Universo, si no es infinito, incluye distancias celestes que son enormes, y porque dentro de estas dimensiones portentosas, la cantidad de materia existente hasta las más lejanas galaxias determina una densidad que es muy pequeña, como también porque en los movimientos en que estamos interesados, las velocidades están muy lejos de acercarse a la velocidad de la luz. La Geometría de Euclides y la Mecánica de Newton continuarán siendo por lo tanto representaciones suficientes de la realidad, y todas sus consecuencias, serán siempre útiles para nuestras necesidades. La corrección relativista se ha hecho sensible y perfectamente comprobable por las mediciones, por ejemplo cuando la luz pasa rasando masas enormes de materia como la del sol, en donde encuentra un espacio deformado, que no es el espacio de Euclides, lo que la hace experimentar una desviación exactamente igual al doble de la prevista por la Mecánica de Newton. Pero esta corrección es pequeñísima, pues no alcanza a un segundo de arco.

Así también, ninguna corrección apreciable habrían tenido que hacer, si hubieran conocido el radio de la tierra, que ellos creían plana, los agrimensores fenicios, cuando medían las tierras de Cartago, para fijar los dominios de la reina Dido.

---

Todo lo anterior, como se ve, ha venido a situar en un terreno físico y experimental el marco espacio-tiempo, en que debemos encuadrar la imagen subjetiva del mundo exterior. Lógicamente corresponde considerar en seguida qué modificaciones ha debido experimentar en la Física, concomitantemente, el concepto de materia, ver si tales modificaciones son verificables y qué importancia ellas tienen o puedan tener para las aplicaciones que el hombre hace de la materia en todos sus estados.

La materia en las leyes físicas aparece precisada en la expresión del segundo principio de la Dinámica. Este segundo principio establece la proporcionalidad entre las fuerzas y las aceleraciones (variaciones de velocidad) que ellas imprimen al cuerpo sobre el cual actúan. El principio determina como se ve una relación cuantitativa, y su comprobación numérica experimental no ofrece dudas porque ambas magnitudes (fuerzas y aceleraciones) puedan medirse en Física, sin hacer convenciones, en unidades que pueden elegirse arbitrariamente. ¿Qué es, o sea qué significado físico tiene el coeficiente de proporcionalidad de este principio? Cuando las mismas fuerzas actúan sobre cuerpos diversos, la proporcionalidad se presenta siempre, pero el valor numérico del coeficiente, varía de un cuerpo a otro. Se infiere de aquí, como se comprende, que ese coeficiente representa el factor de responsabilidad, si así pudiera decirse, que cada cuerpo presenta frente a las fuerzas, y este factor no puede ser otra cosa que la cantidad de materia de que el cuerpo está formado. El segundo principio de la Dinámica de Newton define así una magnitud que es la representación cuantitativa, numérica, indiscutible, de la materia: es lo que llamamos masa.

La materia, ya lo recordamos al comienzo, puede cambiar de estado físico. Mucho más numerosos que estos cambios son los que se producen en las reacciones químicas, en las cuales, materias de calidades diferentes (sustancias diferentes)

pueden combinarse dando lugar a nuevas sustancias de cualidades distintas a las de los componentes, como también pueden las sustancias compuestas dividirse en las sustancias integrantes de su composición. Pero en todos estos cambios, sucede que la cantidad de materia, o sea la masa, permanece constante.

Este hecho constituye el principio de la conservación o constancia de la materia. El fué establecido sobre bases experimentales indiscutibles para la época, por Lavoisier, el fundador de la Química moderna. Lavoisier para ello examinó cuidadosamente una serie de reacciones químicas, reacciones que se acostumbra representar por una ecuación en cuyo primer miembro están las sustancias que reaccionan entre sí, y en el segundo, las sustancias que son el resultado de la reacción. Pues bien, la suma de las masas de los cuerpos del primer miembro es siempre rigurosamente igual a la suma de las masas del segundo miembro. La cantidad de materia en todos los cambios y transformaciones que puede ésta verificar, permanece, en consecuencia, constante, sin aumentar ni disminuir.

Así, 12 gramos masa de carbono necesitan para quemarse totalmente 32 gramos masa de oxígeno; el resultado son 44 gramos masa de anhídrido carbónico. Por eso, desde Lavoisier, la balanza es el instrumento fundamental de la Química.

Pero Lavoisier dispuso para sus investigaciones de la balanza mecánica corriente, cuyo principio venía establecido desde Arquímedes, o quizás desde antes. La precisión de este instrumento, con ser grande, es sin embargo limitada; la balanza puede entonces asegurar la exactitud del principio de Lavoisier sólo hasta el límite de esa precisión. Ahora bien, la Física moderna dispone de un instrumento de medida de masas que es portentosamente más sensible que la balanza de Lavoisier, el llamado espectrógrafo de masas, ideado y perfeccionado por Aston, instrumento que está fundado en principios muy diversos de los de la balanza corriente.

Son muy notables y diversas las investigaciones que ha permitido hacer este valioso instrumento; entre ellas está el descubrimiento de los isótopos, que explicó las anomalías numéricas de las masas atómicas de los elementos, y la revisión completa de los valores de estas masas, que ahora conocemos con una seguridad enormemente mayor que la que tuvieron los fundadores de la Química, todo lo cual ha permitido desarrollar bajo una luz nueva las teorías de la constitución de la materia. Así el uso del espectrógrafo de masas ha hecho posible investigar cuantitativamente reacciones análogas a las reacciones químicas, pero que ocurren no entre los átomos de los elementos, como estas últimas, sino en zonas más profundas, dentro de la materia; son las reacciones llamadas nucleares en las cuales, por intervenir lo que el átomo tiene de individual, su núcleo, se presenta el caso desconocido y rechazado como absurdo por la Física y la Química clásica, de la transmutación de los elementos.

Este hecho sorprendente fué evidenciado por primera vez con el descubrimiento de la radioactividad, por Becquerel. Un cúmulo creciente de conocimientos se ha formado con el estudio de esta radioactividad, estudio cuyo impulso primero es la honra de María y de Pedro Curie.

Los elementos radioactivos que existen en la Naturaleza, se están desintegrando espontáneamente, desintegración cuyo resultado es su transformación en elementos distintos de sus antecesores. Varias cadenas o series de transformaciones han sido descubiertas y estudiadas prolijamente, cadenas que terminan cuando se llega a un

elemento estable, que es el plomo. Fenómenos intensos de producción de energía acompañan a estas transformaciones.

Si la Naturaleza presenta estos casos de transmutación, los Físicos pensaron y se dieron a la tarea de producir fenómenos análogos artificialmente. Desde Rutherford, que tuvo el primer éxito en este sentido, hasta nuestros días, son innumerables las transformaciones semi artificiales o totalmente artificiales que se ha podido producir en este campo. Aun se ha logrado la obtención de elementos nuevos, los elementos transuránicos, que no se han encontrado y que tal vez no existen en la Naturaleza.

Ahora bien, estas reacciones se han sometido también a la investigación cuantitativa clásica de Lavoisier sobre las masas, naturalmente que en condiciones muy distintas, puesto que ahora se trata de fenómenos que se logra producir con intervención de cantidades prodigiosamente pequeñas de materia. Pero estas condiciones de dificultad se han superado gracias al espectrógrafo de masas.

El resultado a que se ha llegado tiene una importancia enorme para las teorías. En efecto, se ha podido establecer que en estas reacciones no se cumple el principio de la conservación de la masa, postulado fundamental de la Química clásica, y lo que es tal vez más importante, se ha comprobado que la inconstancia de la materia aparece relacionada con la energía que entra en juego en estas reacciones, y precisamente en el sentido de que cuando en la reacción nuclear hay desprendimiento de energía, la reacción se produce con disminución de masa, y que cuando hay absorción de energía, la masa aumenta. Esto, como se comprende, tiene el significado evidente de que estamos en presencia de una transformación de la materia en energía, y recíprocamente.

Cuando Lavoisier quemó 12 gramos de carbón combinándolos con 32 gramos de oxígeno, no obtuvo en realidad 44 gramos de anhídrido carbónico, sino algo menos, porque esta reacción desprende calor, que es energía; pero su balanza era un instrumento demasiado impreciso para acusar la disminución, que es portentosamente pequeña.

El hecho había sido predicho por Einstein, y en forma numérica, como una consecuencia de la relatividad. Establecido por él que las relaciones que Fitz Gerald y Lorentz habían propuesto para explicar la paradoja de la experiencia de Michelson representaban una realidad física distinta de los conceptos clásicos de espacio y de tiempo absolutos, previó que de esas relaciones debían deducirse nuevas verdades. En efecto, aplicándolas inmediatamente a la masa, cuya definición está, como he recordado, en el segundo principio de la Dinámica, Einstein dedujo dos fórmulas fundamentales.

La primera establece que la masa de un cuerpo no es una constante, sino que varía con la velocidad del cuerpo, y precisamente va creciendo con ésta, en forma que para una velocidad igual a la velocidad de la luz, la masa del cuerpo resulta infinita. Por lo tanto la velocidad de la luz, que en la experiencia de Michelson, punto de partida de la relatividad, mostró ser una invariante universal, tiene además en el mundo físico una posición de límite inalcanzable, como el infinito de las Matemáticas. La segunda establece que una masa material es equivalente a una cantidad de energía cuyo valor numérico se obtiene multiplicando esa masa por el cuadrado de la velocidad de la luz. La energía posee por lo tanto inercia como la materia.

Ambas relaciones se comprueban experimentalmente en los fenómenos nucleares

que he recordado. Efectivamente, en sus transformaciones, las sustancias radioactivas expulsan de su núcleo corpúsculos dotados de velocidades enormes, cercanas a la de la luz; pero que jamás la alcanzan; en ellos, las medidas acusan variaciones de la masa que concuerdan con la fórmula de Einstein. Y las variaciones de la masa total que entra en juego con una reacción nuclear es precisamente el equivalente que según la segunda relación de Einstein tiene la energía que aparece o desaparece en la reacción.

Este último hecho ha tenido, como se sabe, una aplicación tremenda en los proyectiles atómicos, en los cuales una cantidad pequeña de materia es puesta en condiciones de transformarse súbitamente en cantidades pavorosas de energía.

---

Las investigaciones nucleares constituyen la culminación actual del desarrollo de las teorías físicas sobre la constitución de la materia.

Desde un comienzo, estas teorías atribuyeron a la materia una estructura corpuscular, y por lo tanto discontinua. Aunque estas ideas tengan un lejano antecedente en la Grecia, en la escuela filosófica de Demócrito y también en Roma, en el lirismo de Lucrecio, en el sentido científico experimental tales teorías se han venido desarrollando sólo desde fines del siglo XVIII y comienzos del XIX.

Sucesivamente se han establecido así la teoría molecular-atómica, la teoría cinética y la teoría electrónica-nuclear.

En la teoría molecular, que explica todos los fenómenos de la Química, y su complemento la teoría cinética, que explica los del calor, la idea corpuscular se aplica sólo a la materia. Pero en la segunda mitad del siglo pasado y en lo que va corrido del presente, la misma hipótesis, gracias a los admirables trabajos de los físicos ingleses, se estableció también sólidamente para la Electricidad, mientras los físicos alemanes la extendían a la energía radiante. Son así, del mismo orden representativo, el átomo de Dalton, de Prout y de Avogadro, en la teoría de la materia, el electrón de Stoney, de Wilson y de Thomson en la Electricidad, y el cuántum de Planck en los dominios de la energía radiante.

En la teoría nuclear, los electrones y los quanta son idénticos en todos los elementos; en cuanto a los núcleos mismos de los distintos átomos, ellos tienen todavía otros constituyentes comunes, también corpusculares, como lo previó Prout, en los comienzos de la teoría atómica, al observar que las masas atómicas formaban una sucesión de números enteros, cuando al más liviano de ellos, el átomo de hidrógeno, se le asigna la cifra 1. La Física debe al espectrógrafo de Aston la comprobación de esta hipótesis, y la explicación numérica, absolutamente satisfactoria, de las anomalías aparentes que parecían en contradicción con la teoría.

La imagen parece ser entonces definitiva, y si constituye la realidad, ella debe determinar la forma de la expresión de los conocimientos que sobre la materia podemos alcanzar, o sea debe determinar la forma de las leyes físicas. Esta observación ha sido hecha, y está en marcha con resultados cuyas proyecciones pueden ser vastas.

Se ha razonado, en efecto, que antes del establecimiento de esta realidad corpuscular primordial, la Física estaba con sus leyes describiendo el comportamiento de conjunto, que era el único observable en la materia, habiendo ignorado el compor-

tamiento individual de sus componentes, prodigiosamente minúsculos para ser observados, y prodigiosamente numerosos para ser seguidos. Y se comprende que ambos comportamientos, el colectivo y el individual, pueden ser muy distintos, aun cuando en el primero se refleje en alguna forma el segundo.

Además, se ha hecho notar que el razonamiento que en Física se hace para desentrañar las leyes de los fenómenos, recurre al auxilio de las Matemáticas, que están fundadas en el concepto de la cantidad continua, lo que sería una contradicción, porque la herramienta no estaría condicionada a la naturaleza de lo que con ella se quiere edificar. Más aún, sería ilusorio buscar leyes que expresen un determinismo absoluto entre los estados sucesivos de los sistemas físicos, que por ser discontinuos, no pueden evolucionar sino a saltos, forma que no es la contemplada en el Cálculo, creado por Newton precisamente para representar variaciones continuas.

Como resultado, el desarrollo futuro de la Física puede hacer necesario el uso de una Matemática de la cantidad discontinua para expresar con precisión las leyes, y ahora y entonces debemos renunciar a la posibilidad de dejar constancia en esas leyes de una causalidad absoluta, y contentarnos con un determinismo estadístico, o sea con una probabilidad determinada de fijar los fenómenos. El azar parece con esto estar reclamando derechos a participar también en la armonía del Universo físico, y adquiere una verdad inesperada el aserto de Einstein de que la Física sería una aventura del pensamiento.

Después de los triunfos resonantes que alcanzó el determinismo absoluto en los dominios de la Astronomía, esta nueva posición de la Física parece una desilusión, porque estaríamos alejándonos de aquella meta que parecía ser el objetivo de la ciencia, de poder llegar a la determinación del estado del Universo, conocido un estado anterior y las leyes que rigen todos los cambios posibles en él.

---

En la maravillosa teoría cinética de los gases, desarrollada por Maxwell, la fórmula fundamental de la distribución de las velocidades tiene características que muestran esa imposibilidad de alcanzar la certidumbre sobre las cosas. Esa fórmula expresa el número de moléculas que en una masa gaseosa poseen velocidades comprendidas entre dos valores. Pero cuando esos valores se acercan hasta confundirse, o sea cuando la fórmula debiera dar el número de moléculas que se mueven con una velocidad determinada, la fórmula dice que no hay ninguna, lo que muestra que la verdad precisa es inalcanzable, porque está bloqueada por la posibilidad, que será lo único que lograremos establecer. Una especie de incertidumbre parece así esparcirse y estampar el panorama de las cosas.

Señor Rector: con estas divagaciones en torno de la Física he querido recordar qué horas tan fecundas ha vivido el pensamiento científico con la concepción relativista, período que algunos comparan en importancia con la revolución copernicana, y por qué evolución profunda, derivada de la constitución corpuscular de las cosas, están pasando las ideas de causalidad en el desarrollo de esta ciencia, cuya enseñanza me honro tener en la Universidad.