

LAS PARTICULAS ELEMENTALES Y EL FIN DEL ATOMISMO

Hoy que leemos todos los días en el periódico que hemos llegado a la era atómica, podrá sonar a paradoja que un físico anuncie el fin del atomismo. Claro que, en parte, esto ocurre por amor a la paradoja misma. Pero la afirmación indicada en el título es para tomarla en serio. Lo que aquí queremos establecer es lo siguiente: los átomos, tal como hoy los conocemos, apenas conservan algún parecido con la imagen que rondaba la mente del inventor del concepto del átomo. Sobre todo los átomos no son las formaciones últimas indivisibles que podrían servir de fundamento a una explicación de la naturaleza... incluso es sencillamente dudoso que exista algo "último" o cosa por el estilo.

El atomismo, como todos saben, era la doctrina de Demócrito de Abdera, que vivió por el año 400 antes de J. C. y murió a la edad legendaria de los patriarcas tras largos viajes por el mundo entonces conocido. Enseñaba que el mundo consta de átomos y del espacio vacío, del vacío. En el vacío zumban, de aquí para allá, los átomos, que son indivisibles, invariables y eternos. Pues nada real, según su doctrina, aparece o se desvanece: de la nada, nada sale. Todo lo que llamamos cambio sólo es reordenación —unión y separación— de los átomos en el espacio.

Al átomo, el indivisible, que en todo fenómeno es el fundamento inmutable, llamaron los romanos individuo. Basándose en lo que la palabra individuo significó en el Renacimiento —y desde entonces significa para todos— se concluyó que los átomos eran algo así como almas, idea que repercute hasta el siglo xvii, hasta la teoría de las mónadas de Leibniz. Para el pensamiento contemporáneo, ciertamente, el alma individual no muestra el parecido más remoto con un átomo físico. Pero considerado históricamente, durante el más prolongado período el concepto del átomo no ha sido algo que respondiera a la realidad empírica del mundo, tal como la vio y palpó Demócrito en sus viajes. Era más bien una

por el prof. Dr. MARKUS FIERZ
De la Universidad Técnica de Zurich

imagen de la fantasía, en la que ciertamente, alienta una enorme fuerza de síntesis. Prestó alas al vuelo imaginativo y estimuló, al mismo tiempo, el pensamiento lógico-matemático. Nuestra referencia deberá permitirnos apreciar algo de la vida de esta curiosa representación natural-filosófica.

En el concepto del átomo están íntimamente entrelazados dos motivos del pensamiento griego: el primero es que nada real puede surgir y desaparecer. Todo acaecer debe tener, pues, por fundamento, algo eterno e invariable, a lo que sólo puede atribuirse existencia en su cabal sentido. Esta idea es un postulado común a casi todos los pensadores griegos, siendo elaborada con el máximo énfasis por los eleáticos especialmente. El segundo motivo es que el acaecer es un separarse y unirse espacialmente de elementos invariables, justamente los átomos. El acaecer es, por lo tanto, esencialmente, cambio de la ordenación de los átomos en el vacío, lo que así se convierte en otro concepto fundamental del atomismo. Una explicación atomística de la naturaleza sería, pues, un verdadero análisis: se demuestra cómo está compuesto de átomos todo y cómo todo puede descomponerse en átomos.

A una verdadera explicación de la naturaleza en tal sentido no llegó realmente la Antigüedad, nunca. Más que rudimentarias indicaciones no encontramos. La idea se evade pronto a la esfera poética de la fantasía y desde ahí llega a nosotros efectivamente, a través del poema didáctico de Lucrecio, habiendo ejercido no escaso influjo, en los siglos XVI y XVII, en la incipiente ciencia de la naturaleza.

Que la teoría atómica no haya llevado a los griegos a una verdadera ciencia de la naturaleza se explica, principalmente, por la peculiar estática de su pensamiento. El postulado de que sólo lo invariable existe, "es", hizo imposible una teoría del cambio y del movimiento espacial. Consecuentemente la geometría griega, más que una teoría del espacio, es una teoría de la figura física, así como la arquitectura griega, más que un arte del espacio, es una arte plástica.

Sólo la escolástica —la escuela de París especialmente— nos suministra, en el siglo XIV, rudimentos inconfundibles de la moderna teoría del movimiento. Estos estudios escolásticos son de naturaleza esencialmente lógico-matemática. Les falta el nexo con el acaecer en el mundo físico intuible. Al combinar Galileo estos conocimientos con la grandiosa fuerza intuitiva geométrica de un Arquímedes y aplicarlos a la física, creó la "nuova scienza", que con la teoría de la libre caída de los cuerpos conquistó su primer triunfo.

Con los "Principia", de Newton, ve la luz en 1687 el primer manual de la mecánica, aún hoy vigente. Aquí se formulan por vez primera en términos clásicos las leyes fundamentales de la mecánica, que sirven de base a la teoría mecánica del sistema planetario. Es así la obra de Newton un hito en la evolución de la física, si bien su forma matemática nos parece hoy anticuada.

Newton y sus contemporáneos son casi todos atomistas convencidos. Por el Apéndice a la Óptica en que Newton desarrolla sus ideas sobre física, se evidencia con toda claridad que los puntos de las masas de que se trata en la Mecánica, en última instancia son átomos. El espacio en que los átomos se mueven cobra así, cabalmente en Newton, una altísima dignidad, pues se nos presenta como expresión de la omnipresencia divina. Al estar Dios en todas partes, engendra o sostiene el espacio en que todo está contenido. Del espacio dice Newton: "En él vivimos, nos movemos y somos", lo que, como es sabido, dice San Pablo de Dios en los Actos de los Apóstoles. Por tal manera se convierte este postulado en prueba de la divinidad del espacio.

El siglo xvii, en que Newton vivía, es la época del Barroco. Y justamente la arquitectura barroca es una pura fiesta de espacios desbordantes de grandiosas formas, de la más opulenta fantasía. Por modo distinto que la arquitectura griega, no es ante todo arte plástica, configuración del cuerpo de la obra, sino arte espacial, es decir, configuración del espacio incluso en la obra, ya se trate de un espacio interior o del espacio de calles y plazas. En todo ello se revela un sentir y un pensar que nada de griego tiene, en absoluto. Pero una raigambre de este pensamiento puede encontrarse en la tradición judaica, que en el Renacimiento —acaso sería mejor decir en el Humanismo— cobró vigencia también entre nosotros. Se procuraba entonces conocer los escritos antiguos, la Biblia entre ellos, en la lengua original, para lo que el estudio del hebreo se hizo necesario; en tal sentido hubo de recurrirse a los doctores judíos y con este trato intelectual se llegó a conocer también su pensamiento. Que el espacio es divino por ser omnipresente Dios, es algo que pertenece al venerable acervo del mundo de ideas del pensamiento judaico. No en último término lo demuestra también la predicación de San Pablo. Al combinar los físicos —Newton y los que le precedieron— el pensamiento matemático griego con las ideas judaicas y aplicar al mismo tiempo a la naturaleza la teoría del movimiento, desarrollada con escolástica sutileza, crearon realmente una ciencia nueva: la mecánica clásica. Es ésta, además, la primera teoría atómica especulativa verdaderamente formulada y desarrollada.

Pero en esta teoría se hacen recaer los acentos muy de otra manera que en el primitivo programa de Demócrito.

Uno de los motivos que llevaron a la idea del átomo, es, como hemos dicho, el postulado de que todo acaecer debe tener por fundamento algo invariable, permanente. Y he aquí que en la mecánica —como consecuencia de sus leyes— surgen nuevas magnitudes que se conservan inmutables en todos los procesos: la mecánica trae consigo los postulados de la conservación. A las magnitudes que se conservan les llamamos energía, impulso e impulso de rotación. Estos postulados de la conservación no sólo son válidos en la mecánica, sino en toda la física en general, incluso allí donde no se trata en absoluto de átomos, como en la electrodinámica y en la óptica, por ejemplo.

Puede demostrarse que los postulados de la conservación son válidos por ser el espacio y el tiempo homogéneos y ser el espacio isótropo. Quiere decirse que ningún punto del espacio se diferencia de otro en el vacío: todos tienen valor idéntico. Del mismo modo ninguna dirección del espacio se diferencia de otra. En el espacio del Universo no tiene sentido hablar de “arriba” y “abajo”. Llamamos a estas cualidades del espacio su simetría y decimos: consecuencia de la simetría del espacio es que el impulso y el impulso de rotación se conserven.

Ahora bien, con esto, la motivación de que en toda mutación debe subsistir algo permanente, se independiza de la idea del átomo. Al mismo tiempo ha aumentado enormemente la significación del espacio y su simetría, al punto de que Einstein inició el audaz intento de fundamentar la totalidad de las leyes físicas en las cualidades de simetría de un espacio general, diferencial-geométricamente caracterizado. Ciertamente este intento, en cuanto se me alcanza, sólo se logró parcialmente.

En cambio el postulado del impulso de rotación que se sigue de la isotropía del espacio ha cobrado máxima importancia en la teoría de los cuantos. Mientras en la física clásica las condiciones de un sistema son descritas con valores numéricos continuamente variables, que pueden asignarse a las magnitudes físicas, en la teoría de los cuantos ocurre esto, en muchos

e importantes casos, con magnitudes que sólo pueden admitir valores expresables en números enteros: se dice que las magnitudes físicas tienen valores discretos. A los números enteros con cuya ayuda caracterizamos las condiciones discretas, se les llama números cuánticos. Y justamente los números cuánticos del impulso de rotación han llegado a constituir un importante instrumento para la ordenación de las condiciones de los átomos. Así, por ejemplo, las peculiares cualidades de los elementos químicos que encuentran expresión en el llamado sistema periódico, son comprensibles si se describen las condiciones de los átomos con la ayuda de números cuánticos.

Con ello hacen su aparición un nuevo motivo y un nuevo concepto: el número cuántico. Los números cuánticos están a menudo en íntima conexión con cualidades de simetría de los sistemas para cuya descripción sirven.

Si bien con esta evolución se priva al atomismo de uno de sus fundamentos filosóficos, se ha mantenido con éxito, no obstante. Pues la idea de que toda estructura puede componerse de estructuras simples, el principio del separar y unir, siguió manteniéndose. De modo especial se ha evidenciado que la química puede realmente concebirse como un juego de composición con átomos, cuyas cualidades físicas, en principio, pueden ser totalmente comprendidas. Ciertamente los átomos químicos están ellos mismos, a su vez, compuestos. Constatación del núcleo atómico y de los electrones que a su torno zumban. El propio núcleo atómico —si bien difícil de hender— está, a su vez, compuesto de protones y neutrones.

Hasta aquí hemos llegado con el juego de la composición, mas parece que toca a su fin. Pues los electrones, protones y neutrones de que constan los átomos, no podemos considerarlos ya como compuestos. Quiere decirse que idea o hipótesis semejante, en modo alguno nos ayudan a comprender las cualidades de estas partículas, antes bien acarrear dificultades y producen una general confusión de los conceptos.

En todo caso ni los nucleones, ni los electrones, son formaciones simples, invariables. Puede verse esto ya por la desintegración beta, en cuya virtud en el núcleo del átomo un protón se transforma en un neutrón, con lo que nace un electrón que es expelido del núcleo del átomo. Un neutrón libre, es decir, no sujeto en un núcleo atómico, carece, sencillamente, de permanencia: al poco tiempo se desintegra —por término medio al cabo de un cuarto de hora— en protón y electrón. Sería erróneo, sin embargo, considerarle compuesto de estas partículas, pues en determinadas circunstancias el protón puede desintegrarse, también, justamente en un neutrón y en un electrón de carga positiva.

Incluimos a nucleones y electrones en las llamadas partículas elementales. Al iniciar yo mis estudios, pronto hará treinta años, sólo se conocían el protón y el electrón negativo y se creía que toda la materia estaba construida sobre la base de estas dos partículas. Podía, así, considerárselas como unidades últimas elementales, cobrando, por tal modo, significación el término “partículas elementales”. Pero en pasados años se han descubierto muchas otras partículas, que llamamos mesones e hiperones, a todas las cuales incluimos en el concepto partículas elementales. Con ello este concepto ha perdido mucho de su primitivo significado. Tiene su fundamento, no obstante, en el hecho de que a ninguna de estas partículas pueda considerársela como compuesta en el mismo sentido en que, con buenas razones, imaginamos construido de nucleones el núcleo del átomo.

Formaciones simples no son las partículas elementales, sin embargo: tienen peculiares, diría que dinámicas cualidades, difíciles de investigar y aún más difíciles de comprender. Por modo completamente distinto que los átomos de Demócrito, no son de duración eter-

na, sino en grado sumo perecederas. Se desintegran casi todas en brevísimo tiempo —para la mayoría supone ya muy larga vida un millonésimo de segundo— hasta que finalmente se originan protones, electrones, neutrinos y radiación electromagnética como producto resultante. Con ello una gran parte de la primitiva masa se transforma en energía, de modo que justamente en estos procesos la equivalencia de masa y energía se evidencia como ley natural fundamental.

Si bien por tal modo todas estas partículas tienen una existencia en grado sumo efímera, parecen ser de máxima importancia, sin embargo, en la constitución de la materia. Incluso sabemos esto con certeza de los llamados mesones-pi, pues son la causa principal de la cohesión de los nucleones en el núcleo del átomo.

Si la mayoría de las partículas elementales tienen una vida tan increíblemente corta, habrán de producirse, sin embargo, para que sea posible observarlas. Esto se consigue concentrando en un núcleo atómico único la energía que en condiciones habituales está repartida en centenares de millones de átomos. Semejantes concentraciones de energía pueden lograrse con ayuda de gigantescas máquinas. Una de las mayores funciona desde hace un año en Ginebra (CERN). En esta máquina son acelerados protones hasta alcanzar casi la velocidad de la luz y disparados después sobre otros átomos, es decir, sobre alguna materia. Así se originan hiperones, mesones y también antiprotones, es decir, protones de carga negativo y se investigan el proceso del nacimiento y la desintegración de las partículas que se originan. En todos estos procesos los postulados mecánicos de la conservación se cumplen invariablemente. Por otra parte, en el proceso de nacimiento rigen nuevas leyes, que responden a nuevos postulados de conservación. Los nuevos postulados de conservación dan lugar a nuevos números cuánticos, a los que se llama "isospin" y "número de extrañeza": el segundo de estos nombres alude al extraño carácter de las leyes que aquí se descubren. Con la ayuda de los nuevos números cuánticos ha sido posible clasificar también sistemáticamente las partículas elementales y ordenarlas ingeniosamente en grupos. Se obtiene por tal modo un "sistema de las partículas elementales" que puede compararse con el "sistema periódico de los elementos". En el intento de interpretar matemáticamente los nuevos números cuánticos, puede buscarse aquí también una simetría que de estos números se desprende. Con el isospin se ha logrado esto al poderse describir matemáticamente como un impulso de rotación. Si con esta descripción tocamos lo esencial o si aquí nos dejamos inducir a error por una analogía, me parece cuestión indecisa aún. Por eso tampoco estoy seguro de que los números con que clasificamos las partículas elementales sean realmente números cuánticos comparables a los que manejamos en la teoría de los cuantos.

Mucho nos hemos alejado, realmente, de lo comprensible para el no físico. Pero es que nos movemos en un terreno que no sólo es nuevo completamente, sino en el que, en cuanto se me alcanza, de poco pueden servirnos ya las venerables ideas físicas, durante siglos vigentes. Conceptos nuevos y suficientes, una teoría matemática satisfactoria: nada de esto tenemos a mano. Debemos, pues, seguir adelante con la ayuda de atisbos, a menudo inconexos, y renqueantes comparaciones, lo mejor que podemos. No es, pues, milagro que sea difícil dar explicaciones claras y evidentes sobre los conocimientos obtenidos. Sería sin embargo erróneo suponer que tanteamos en la tiniebla. Justamente en los últimos años se ha llegado a un notable esclarecimiento de fundamentales problemas y se han logrado hondos atisbos en sorprendentes, inesperadas conexiones. Y en todo ello los conceptos de la teoría de los cuantos han demostrado, con renovada vigencia, su fuerza ordenadora.

Para terminar hemos de referirnos a una evolución que en la conexión de nuestros temas es de cardinal importancia.

Las ideas fundamentales del atomismo eran los átomos y el espacio vacío, el vacío. Los átomos se han disuelto en la cornucopia de las partículas elementales. Pero el propio vacío se ha convertido en algo completamente distinto. Pues, en absoluto, no está realmente vacío. No es sólo un espacio geométrico. Ambas cosas, las partículas elementales y el espacio, son hoy para nosotros aspectos de una estructura única que los físicos llaman un "campo". El campo es algo extendido, y no quisiera decir extendido en el espacio, pues en cierto sentido campo y espacio son una y la misma cosa. El campo se manifiesta en estados múltiples y llamamos vacío a uno de estos estados, mientras otros responden a la presencia de partículas elementales en el espacio. Pero no por ello vamos a imaginar el espacio como un cántaro en el que se han metido los cuerpos, los átomos, la radiación y del que de nuevo podríamos sacarlos. Antes bien diremos que con el vacío está el campo dado y con ello, en principio, todo cuanto en él pueda estar presente.

Ahora bien, no puedo, ciertamente, afirmar que pudiera darse como lograda una teoría del campo que respondiera satisfactoriamente a la imagen aquí bosquejada... incluso deberá dudarse si esto es sencillamente posible en tan amplio sentido. Pero existen ya trabajos sobre una teoría general de los campos cuánticos que han conducido al planteamiento de problemas muy interesantes y desde el punto de vista matemático completamente nuevos. Hay también casos en que la teoría del campo hasta hoy desarrollada ha obtenido resultados que en la más sorprendente medida coinciden con los fenómenos. Si creemos, pues, que una amplia y completa teoría del campo, una "fórmula del universo", constituye una meta inasequible, pensemos también que no es tarea justamente lo que al teórico le falta. Éste podrá siempre decirse con el sabio de Weimar, chinescamente inspirado:

*"Calma tu nostalgia del futuro lejano
entregándote entero al afán cotidiano".*

Al seguir los pasos de la evolución del atomismo hemos visto que en su sentido original se ha desvanecido. Los átomos se transformaron en partículas elementales y éstas no son algo permanente, duradero. En todos los procesos se conservan, ciertamente, en cuanto sabemos, magnitudes como la energía, el impulso, la carga eléctrica. Pero estas magnitudes son de naturaleza tan general, que los conceptos correspondientes, por sí mismos, nunca podrán ser el fundamento para una comprensión de la naturaleza.

Conocemos leyes que regulan el nacimiento y la desintegración de las partículas. Pero no las comprendemos bien. En el nacimiento de las partículas rigen postulados de la conservación nuevos, hasta hoy desconocidos, pero que son violados al desintegrarse las partículas, y ello, al parecer, respondiendo a leyes. Incluso se plantea la cuestión de si el concepto "postulado de la conservación" en tales coyunturas puede aún conservar su vigencia como concepto fundamental. Todo esto parece indicar que se nos señala aquí un terreno jamás hollado: que nos encontramos en un final que al mismo tiempo es un principio.

Todo indica, pues, que se ha llegado realmente al fin del atomismo. Lo que aquí empieza, aun con los más ingeniosos recursos de la matemática, sólo imperfectamente podemos formularlo.