Carlos Sánchez del Río

«LOS AVANCES DE LA FISICA MODERNA»

Entre los días 8 y 17 de abril el profesor **Carlos Sánchez del Río**, catedrático de Física Atómica y Nuclear de la Universidad Complutense, impartió en la Fundación Juan March un ciclo de cuatro conferencias sobre «Los avances de la Física Moderna». Los títulos de dichas conferencias fueron los siguientes: «De la filosofía natural a la física», «Entre el mecanicismo y la matematización», «Del clasicismo a la modernidad» y «La descripción de lo invisible».

La Física, tal como hoy la conocemos, no tiene más allá de 200 años. Tuvieron que pasar unos dos mil años para que la Física se materializase. «El conocimiento empírico de la naturaleza —dijo el profesor Sánchez del Río a modo de introducción general— es muy antiguo. Con los griegos empezó ya una ciencia especulativa, que es algo más que el puro conocimiento artesanal. Y de ahí hubo un tránsito que duró muchos siglos, hasta llegar a una descripción cuantitativa de la naturaleza, que es lo que hoy llamamos Física.»

Se incluye a continuación un amplio resumen de las conferencias.

CARLOS SANCHEZ DEL RIO nació en Borja (Zaragoza) en 1924. En 1953 obtuvo la cátedra de Física Atómica y Nuclear de la Universidad Complutense. Es académico numerario de la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Ha sido director general de Política Científica y presidente del C.S.I.C. y de la Sociedad Nuclear Española, así como Secretario del Departamento de Física, de la Fundación Juan March, de 1975 a 1977, y miembro de la Comisión Asesora de dicha institución entre 1981 y 1983.

Con los griegos empieza realmente una ciencia especulativa, que se preocupa del 'universo sensible', de que hablaba Aristóteles. A él y a otras tres grandes figuras quiero empezar refiriéndome. Es inevitable hablar, en primer lugar, de Aristóteles, pues sus célebres cuatro libros, que se conocen como «Physicae», y que se citan en latín y no en griego, dieron origen a la palabra con que se designa esta ciencia. Los cuatro libros son: 'Physica', 'De generatione et corruptione', 'De caelo' y 'Meteorológica'. En ellos se ocupa del Universo sensible y expone ideas acertadas e ideas equivocadas. En general, acierta con frecuencia, pero se equivoca en algunos puntos y esto por una razón muy sencilla: Aristóteles observa pero no mide. Y una de las características de la Física moderna es medir.

Otra gran figura griega es Euclides, el autor de los igual-

mente famosos «Elementos», los 13 libros de Geometría en los que establece algo que se mantiene hasta hoy: la exposición de las Matemáticas a partir de definiciones, lo que él llamaba 'conocimientos comunes' o 'axiomas' y 'proposiciones' o 'teoremas'.

Algo posterior es la tercera figura, Arquímedes de Siracusa, conocido por sus 'Mecanismos' y sus 'Consideraciones Geométricas'. Hay aspectos de su Geometría, sobre todo el cálculo de superficies, que no fueron superados hasta el siglo XVII. Gran influencia posterior tuvo igualmente Claudio Ptolomeo, ya en el siglo II d.d.C. y que fue el mayor de los astrónomos. Su gran obra lleva un título raro, «Almagesto» (y proviene de un cruce lingüístico entre el árabe y el griego, pues los árabes le llamaban el 'gran astrónomo'). Durante muchos siglos éste fue el libro de Astronomía.

Los romanos no fueron grandes científicos; administradores, juristas, ingenieros prácticos, sí, pero no encontramos entre ellos ningún pensador especulativo como estos cuatro griegos. Mucho menos en el Medievo. Tras la caída del imperio romano, de la Alta Edad Media poco se puede decir, se conservan conocimientos en las bibliotecas, existen recopiladores como en Sevilla San Isidoro, pero no es un período muy importante.

La eclosión del Islam

Sí lo será, a partir del siglo VIII la eclosión del Islam, al que debemos mucho más de lo que se piensa.

Muḥammad b. Mūsā Jwarizmī, que vivió hacia el 820, no es nombre muy conocido y, sin embargo, a él se deben el origen de términos como 'guarismo' y 'algoritmo'. Escribió varios libros, que se tradujeron al latín, y sin alguno de ellos es impensable toda la ciencia europea posterior. Es el caso de «De numero indorum», en donde aparecen nuestros guarismos, nuestras cifras árabes, que acabaron sustituyendo a los números romanos. El otro libro fundamental, traducido en Segovia, es «Liber algebrae et almucabola». El primer neologismo dio nombre a la Algebra y el segundo se perdió. Este es el primer libro de Algebra en el sentido moderno.

El otro gran nombre árabe es Ibn al-Haytam, conocido entre los europeos como Alhacén, quien escribió un libro sobre óptica (en latín «Optica Thesaurus»), en el que se señala algo que los griegos no supieron ver: la diferencia entre el fenómeno de la percepción y el fenómeno físico de la luz. Toda la óptica posterior (desde Roger Bacon y Vitelio en adelante) está inspirada en él.

Si nos detenemos en la Europa cristiana, podemos ver lo que supuso la aparición de las Universidades, una forma de transmisión de la cultura que no se ha dado en ninguna otra civilización. Gracias a ellas, al ocaso del Islam, se va a dar un gran impulso a la ciencia especulativa. En el XIII aparece Alfonso X el Sabio con su libro del Saber de Astronomía y sus Tablas Alfonsinas. En el XIV pueden citarse a los escolásticos (y la invención de dos conceptos: 'ímpetus' y 'gravedad') y los «calculatores», un grupo de Oxford, los primeros en cuantificar las cosas. En el XV, en el siglo del Renacimiento, dos figuras, Nicolás de Cusa y el gran Leonardo da Vinci.

Mientras las Matemáticas y la Astronomía se desarrollan, en el XVI la Física no avanza demasiado. Es la época, de todos modos, de grandes personajes: Copérnico, Galileo y Descartes. Al final de su célebre «Discurso del método», entre otras cuestiones trata René Descartes de la geometría analítica, acertando plenamente. Descubre el principio de inercia y la cantidad de movimiento, siendo el primer introductor del mecanicismo, es decir que el mundo es un gran mecanismo. Sus ideas tuvieron gran influencia hasta bien avanzado el siglo XVIII. El, de todos modos, que era tan sistemático, acertó en las Matemáticas, algo puramente deductivo, cosa que no es la Física: el comportamiento de la naturaleza no se deduce.

Gravitación universal

A finales del XVII nos encontramos con una figura extraordinaria: el inglés Isaac Newton, quien en 1687 en sus «Principios Matemáticos de la Filosofía natural» expone magistralmente las leyes del movimiento (ley de inercia, la que expresamos como la aceleración es proporcional a la fuerza y la ley de acción y reacción).

Sus leyes de la mecánica, a mi juicio, son su mayor contribución a la Física de la época. Pero lo que más impacto causó es lo que se refiere al sistema del mundo, que es el sistema planetario. A partir de sus propias leyes de la mecánica y de las leyes de Kepler, Newton establece su ley de la gravitación universal, es decir, que todos los cuerpos se atraen con una fuerza inversamente proporcional al cuadrado de la distancia.

De esta época es también el cálculo infinitesimal. El primer trabajo de Leibniz es de 1684 y de 1686 el segundo. Con él se pasa de una matemática estática a una que estudia las cosas que cambian. Este cálculo permite tratar cosas que están cambiando todo el tiempo; es la matemática del cambio. Leibniz habla ya de 'cálculo de diferencias' (hoy lo llamamos 'cálculo diferencial') y de 'sumas' (hoy 'cálculo integral').

En resumen, todo el siglo XVIII es un tiempo de preparación para la Física en cuanto a ciencia de la medida. Pero este desarrollo de la mecánica racional es académica. No miran a la naturaleza, tratan de deducirla desde sus fórmulas. Pero a finales del XVIII ya se había medido el calor, se hacían máquinas eléctricas, se mide la luz...

Y así llegamos hacia 1800, que es un punto clave, que separa lo que ha sido preparación para la Física actual de lo que es la Física propiamente dicha. Se va a pasar, en un momento de grandes cambios sociales, culturales, económicos y políticos, de una física cualitativa a una física cuantitativa; se pasa de una visión mecánica intuitiva a una descripción matemática y esto, a lo largo del XIX, se puede observar repasando los avances en lo que concierne a la luz, el calor y la electricidad.

A fines del siglo XVII se plantea el problema de qué es la luz. Se expone una teoría, que después resultó ser correcta: la luz es una forma de movimiento ondulatorio, es decir unas vibraciones que se propagan igual que el sonido. Defensores de esta teoría, entre otros, son el jesuita italiano Francesco

María Grimaldi (autor de «Physico-mathesis de lumine, coloribus et iride») y el holandés Christian Huyghens (autor de «Traité de la Lumière»). Distinta idea defiende Newton, en un libro suyo aparecido en 1704: opina en él que la luz no puede ser una onda, sino particulitas pequeñas de diferente tamaño, según el color, y que se propagan en línea recta. Su teoría es discutible, pero es tal el prestigio de Newton que se mantiene en todo el siglo XVIII.

De todos modos, a principios del siguiente ya se tiene una idea clara de la luz. El inglés Thomas Young habla de la 'interferencia de la luz' y el francés Augustin-Jean Fresnel piensa que la luz es como el sonido, pero que las vibraciones se propagan perpendicularmente, se parecen más a las ondas. Y siguiendo a Huyghens afirma que lo que vibra es una materia etérea, el éter, y esta idea se mantendrá a lo largo de todo el siglo XIX.

Teoría del calórico

Si el éter, por sus características, era un misterio, igualmente lo es el calor. En el siglo XVIII ya se sabía que en todos los procesos térmicos había dos conceptos: la temperatura, como grado de calentamiento, y el calor, como algo que pasa de los cuerpos calientes a los fríos. Respecto al calor se dieron dos teorías. La primera es la 'teoría del calórico', defendida fundamentalmente por químicos. El calórico era una cosa palpable, como un gas diluido que no se ve. Y uno de sus mayores defensores es el creador de la Química moderna, Antoine Laurent Lavoisier.

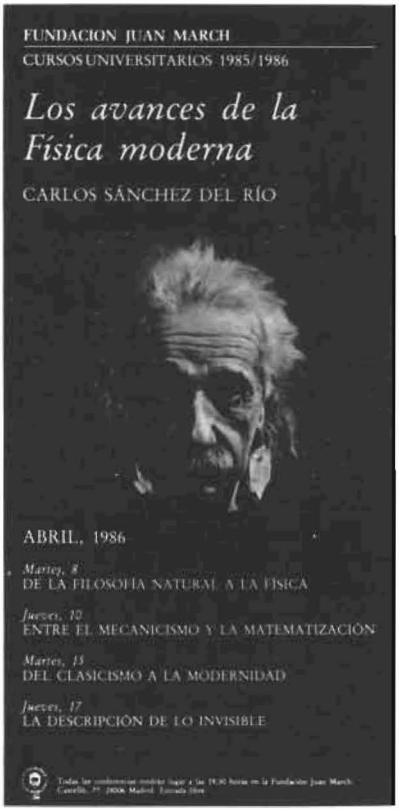
Defensores de la segunda teoría, que en el XIX se conocería como 'ciencia termodinámica', son Benjamín Thompson y Humphry Davy. Se empieza a pensar en una especie de ciencia general de la energía, que se aplica a cualquier sistema; el calor, pues, era una especie de energía y esta idea vence, poniendo en duda la idea del calórico.

Gracias a Ampère, se tiene, en su momento, mejor conocimiento de lo que era la corriente eléctrica. Importante asimismo es el trabajo de Georg Simon Ohm, del cual proviene la unidad de resistencia que hoy conocemos como 'ohmio'. De la primera mitad del XIX sobresale Michael Faraday quien hizo un descubrimiento sensacional: cuando se mueve un imán cerca de un circuito eléctrico, se produce una corriente eléctrica. Es una forma de producir corriente eléctrica sin necesidad de pilas. Estas ideas de Faraday se materializan de forma matemática correcta por un escocés, James Clark Maxwell. Llega a la conclusión de que la luz debe ser ondas electromagnéticas; pero no por ello prescinde del éter: los campos electromagnéticos, piensa, son modificaciones del éter, situaciones en las que el éter ha cambiado de sitio.

Al alemán Heinrich Hertz se debe, en 1888, el descubrimiento de estas ondas. Luego vendría el físico holandés Lorentz, a fines de siglo, con su invención de la teoría de los electrones.

Llegamos así a principios de este siglo, a la aparición de la célebre «Teoría de la Relatividad», de Einstein, que es de 1905, y que tal vez debe interpretarse como la culminación de la física clásica.

Supone, desde luego, un cam-



bio conceptual, pero no tan profundo como se cree, porque todo surge de unas cuantas cuestiones enigmáticas sin resolver en la centuria anterior. Por un lado, estaba la inducción electromagnética, base de la ingeniería eléctrica, y que consiste en que si se acerca un imán a un circuito se produce corriente y si se deja el imán quieto y se acerca un circuito, también se produce corriente. Parece que sólo intervienen los movimientos relativos, no el movimiento absoluto.

Einstein investiga este fenómeno y otros, aparentemente poco relacionados (si un líquido en movimiento arrastra o no al éter; si la tierra se mueve frente al éter o se queda quieta, etc.) y escribe, a los 25 años, «Sobre la Electrodinámica de los cuerpos móviles». Da un paso importante en la Física: renuncia a lo intuitivo, a favor de lo lógico. Dice que si la velocidad de la luz, medida en un sistema móvil, como un tren, por ejemplo, o medida en la estación, es la misma y los espacios cambian y la velocidad es el espacio dividido por el tiempo, el tiempo debe cambiar también.

Cree, según esto, que el éter es un concepto superfluo, que no hace falta. ¿Cuál es, pues, el soporte de las ondas luminosas, que se pensaba que era un éter vibrante, o de los fenómenos electromagnéticos, que se pensaba que eran deformaciones del éter? No hay soporte, dice: la descripción que hacemos es puramente matemática. Einstein parece decirnos: renuncie a la intuición y acepte la lógica. La lógica es suponer que si la velocidad de la luz es constante en todos los sistemas de referencia de un movimiento con otro, si cambia el espacio debe cambiar el tiempo.

Mecánica relativista

Si esto es así, toda la mecánica de Newton es incorrecta y a partir de Einstein hay que hablar de mecánica relativista. Pero su teoría tiene una limitación: se refiere a que la descripción de la naturaleza desde cualquier sistema, sea quieto o móvil con velocidad uniforme, es la misma. Pero ¿y si la velocidad varía? Establece Einstein su «Teoría General de la Relatividad», según la cual no sólo sería imposible distinguir entre dos sistemas, que se mueven uno con respecto al otro con velocidad uniforme como eran el tren y la estación, sino que sería imposible distinguir entre

dos sistemas que se muevan de una manera cualquiera. Todo esto es la culminación de la Física Clásica, gracias al gran talento de Einstein, quien decía que las teorías no proceden de la experiencia, sino que las teorías se inventan.

Llegados a este punto, voy a retroceder cien años para ver de dónde proceden nuestras ideas sobre la estructura de la materia. La discusión sobre si la materia es continua o discontinua es antiquísima; desde Leucipo, en el siglo V a.d.C., hasta Newton se pensó mucho en esta cuestión. La intervención, en este sentido, de los químicos va a ser fundamental. John Dalton en 1803 descubrió que dos elementos químicos podían combinarse de varias maneras, pero siempre en relaciones de peso que son números enteros, llegando a la conclusión de que los elementos químicos son como átomos.

El italiano Amedeo Avogadro sostendrá, en 1811, que en un volumen dado de gas hay el mismo número no de átomos sino de moléculas integrales, que no tienen por qué ser de un solo átomo, aunque sean del mismo elemento. En esto diferían los químicos: los elementos, para ellos, están constituidos de átomos y las moléculas, de conjuntos de átomos. En el Congreso Internacional de Química de Karlsruhe de 1860, el siciliano Stanislao Canizzaro airea las ideas, ya olvidadas, de Avogadro. Acabó aceptándose que la materia está constituida por átomos y los átomos forman moléculas.

Dio que hablar también, por entonces, el problema de la materia en relación con la luz. En 1859 el químico alemán Robert Bunsen había observado que poniendo diferentes sustancias en la llama de lo que hoy conocemos como 'mechero Bunsen', aparecen colores distintos. Su colega Gustav Kirchhoff aún llegará más lejos: se dio cuenta de que unos cuerpos emiten luz (una llama) y otros absorben luz; llegando a la conclusión de que hay una relación constante entre la capacidad de emisión y absorción de un cuerpo. La relación entre el poder emisor y el poder absorbente de un cuerpo para la luz sólo depende del color (la longitud de onda) y la temperatura del cuerpo. Si hubiera, piensa él, un cuerpo que absorbiese todos los colores por igual, ese cuerpo tendría una capacidad de emisión, que sería una función universal, independiente de las sustancias y entonces inventa lo que él llama «cuerpo negro», un cuerpo que absorbe toda la radiación luminosa que incida sobre él, de cualquier cuerpo, aunque sea infrarrojo o ultravioleta.

Tras el austríaco Josef Stefan y el alemán Wilhelm Wien, quienes se ocuparon de calcular el espectro del cuerpo negro, entra en escena uno de los físico más notables de este siglo, Max Planck, quien en su obra «Sobre la teoría de la Ley de la Distribución de Energía en el espectro normal», calcula cosas como el número de átomos que hay en una determinada cantidad de sustancia, la constante que él ha introducido y otras constantes. Esto nos lleva a la modernidad, porque éste es el primer efecto cuántico. Merece recordar la fecha: 14 de diciembre de 1900.

Descripción de lo invisible

La descripción de lo invisible, la descripción de la mate-

ria, supone una forma de descripción más abstracta, acabando por prescindir totalmente de la intuición, la intuición del mecanicismo, que fue el gran sueño del XVII.

Hacia 1900 ya se acepta el carácter discontinuo de la materia y la electricidad. Por tanto, se admitía que la teoría de los átomos era cierta. Atomo en griego quería decir 'indivisible', e ironías del destino, se descubre ahora que los átomos eran divisibles. Una vez descubierto el electrón y aceptado que los electrones se producían por descargas gaseosas y de otros fenómenos, resultaba lógico pensar que el átomo estaba formado de electrones y de otras cosas. El electrón es descubierto por Joseph John Thompson. Un neozelandés, Ernest Rutherford, explicaría años después la estructura del átomo. Según él, éste estaría compuesto de un núcleo, una partícula muy pequeña cargada positivamente, que tiene casi toda la masa, rodeada de unos electrones, que son una especie de bolitas que circulan alrededor como los planetas giran alrededor del sol.

Pero hay una dificultad: las partículas cargadas que sufren aceleraciones emiten radiación electromagnética. Basta un cálculo muy sencillo para comprobar que al dar automáticamente vueltas los electrones alrededor del núcleo, tienen que estar emitiendo luz y al instante perderían ellos su energía y caerían al núcleo. Niels Bohr, que trabajó con Rutherford, inventó un modelo para el átomo de hidrógeno. Acepta las teorías de Max Planck, que hoy llamamos cuantificación, es decir que hay magnitudes que van a saltos. Nuevos experimentos de James Franck y Gustav Hertz, apoyarán las tesis de Bohr, por extrañas que parezcan: la energía de los sistemas atómicos no varía de forma continua sino a saltos.

Así estaban las cosas, cuando se produce en la segunda mitad de la década de los veinte la mayor revolución epistemológica de este siglo, que es la Mecánica Cuántica. Werner Heisenberg, el propio Bohr, el francés Louis Victor de Broglie, contribuirán a sentar las bases de esta Mecánica que, en resumen, se puede decir que es el esquema matemático que nos sirve para describir lo invisible: los átomos, las moléculas, los núcleos atómicos, las partículas elementales, etc. La mecánica permite predecir dónde estará un cuerpo si se sabe dónde estuvo antes; todo es perfectamente predecible si se tienen los datos iniciales. La Mecánica Cuántica responde a otras preguntas: cuáles son los valores posibles de una magnitud; si se hace una medida, cuál es la probabilidad de encontrar cada uno de estos valores; si tengo un sistema dado, cómo evoluciona.

Se estudia con detalle el núcleo atómico, como compuesto de neutrones y protones, y así sucesivamente se va progresando en las investigaciones. Se va de sorpresa en sorpresa: se abre el átomo y se encuentran electrones y núcleo; se abre el núcleo, y aparecen protones y neutrones; se abre uno u otro y aparecen unas 'partículas raras', que nunca han sido observadas fuera...

Desde el punto de vista epistemológico, desde el año 30 hasta hoy no hay radicalmente nada nuevo, sabemos más cosas, más hechos, pero los describimos con el mismo esquema que se inventó entonces. ■