

REAL ACADEMIA DE CIENCIAS
EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES

DISCURSO INAUGURAL

DEL CURSO 1952-1953

LEÍDO EN LA SESIÓN CELEBRADA EL DÍA 12 DE NOVIEMBRE DE 1952

POR EL ACADÉMICO NUMERARIO

R. P. ENRIQUE DE RAFAEL, S. J.



MADRID

DOMICILIO DE LA ACADEMIA:

VALVERDE, 22.—TELEFONO 21-25-29

1952

MOMENTO ACTUAL DE LA FISICA

EXCMOS. SRES. ACADÉMICOS, SRAS., SRES. :

Con este mismo título, el 13 de noviembre de 1921, o sea, hace ya treinta y un años, leía el entonces numerario de esta Academia, D. Blas Cabrera Felipe, el primero de los discursos inaugurales de curso. Sólo quedan cuatro numerarios de esa fecha ; yo me encontraba entre los oyentes. Tanto el tema, como la forma con que fué expuesto, me agradaron en alto grado y esta es la razón por la que me ha parecido volverlo a tratar de nuevo, al cabo de tanto tiempo, aunque no voy a poder hacerlo tan profunda y completamente como lo hizo mi antecesor ; pero, por lo menos, será patente mi deseo, tanto de complaceros a vosotros, Señores Académicos y demás oyentes, desarrollando conceptos y resultados que espero podrán interesaros de la manera que me interesaron a mí en esa ya relativamente lejana fecha, como de honrar la memoria de quien, sin haber sido, nunca profesor, amigo o confidente particular mío, ya que su actuación científica y social tuvo lugar casi toda mientras yo estaba, o confinado en el Seminario, o desterrado en el extranjero ; sin embargo, a pesar de circunstancias, que no es oportuno enumerar y menos desglosar en el momento presente, su retrato figura entre los que fueron presidentes de esta docta Corporación (1).

(1) Los más de los actuales académicos conocieron y trataron a D. Blas Cabrera mucho más y más íntimamente que yo ; es, por tanto, inútil que yo quiera hacer en este momento un simulacro de presentación. Algunos, en cambio, de los que me oyen, sobre todo jóvenes, tal vez ignoran, si no la existencia, por lo menos detalles de su

Antes de entrar en materia, permitidme dos observaciones psicológicas. El discurso de Cabrera no tiene más que veinticuatro páginas, sin una sola nota; cierto que si hubiese querido hacer el menor alarde de erudición no le faltaban medios, porque si alguna cualidad no le podían negar, ni sus más acérrimos enemigos, era la de que era un verdadero devorador de libros y revistas, casi me atrevería a decir que el primero en España en orden cronológico en las materias que cultivó. El por qué de esta abstención de notas

actuación científica. Como el hacer una biografía, aunque fuese incompleta, llevaría muchas páginas, y, en cambio, referir las pocas impresiones personales que recibí con su trato es breve y me resulta fácil y no creo que sea inútil, aun para los mismos que como compañeros y amigos íntimos saben del interesado muchos más hechos y trabajos que yo, me contentaré con esto último.

Conocí a Cabrera cuando él era mero encargado de curso de Física Matemática en el Doctorado, por haber sido jubilado en 1904 el titular D. Francisco de Paula Rojas y Caballero Infante, Ingeniero y Académico. En aquel curso Cabrera fué el primero que explicó en España las aplicaciones a la Física del Cálculo Vectorial. A mediados del mismo (enero-febrero de 1905) hizo las oposiciones a la Cátedra de Electricidad y Magnetismo de la Universidad Central, que ganó brillantemente, siendo sus coopositores dos jóvenes catalanes, que han dejado profunda huella en la enseñanza y en la investigación científica en España: D. José M.^a Plans y D. Ramón Jardí. No tardó Cabrera muchos años en ser nombrado Académico. Su discurso de entrada en esta Corporación *El éter y sus relaciones con la materia en reposo*, aparte de lo que representaba como nueva orientación del estudio de la Física, reflejaba el cariño del recipiendario por el Cálculo Vectorial, como manifestó muy agudamente Echegaray en su discurso de contestación. Desde esa fecha hasta el Movimiento Nacional, la actividad de Cabrera, tanto en la Física Experimental, en la que era maestro consumado, como en la Teórica, fué extraordinaria; él fué el primero en España en usar los métodos de la Teoría de Errores y de los Mínimos Cuadrados para la determinación de las constantes físicas, de las cuales hizo centenares de aplicaciones, que figuran en los registros internacionales de patrones (*International Critical Tables*, vol. VI (págs. 345-353). «Atomic and Molecular data in relation to theories of magnetism» by S. J. Barnett y (páginas 354-365) «Paramagnetic and Diamagnetic data» by K. Honda, T. Ishiwara, T. Soné y M. Yamada, todos ellos físicos japoneses. (Published by The National Research Council of U. S. A.); y con sus lecciones sobre el espacio de Minkowski, él y Terradas fueron los primeros que dieron a conocer en España la Teoría de la Relatividad, primero la restringida y luego, en 1916, la generalizada. En este punto particular, gracias a Cabrera y a Terradas, el nacimiento de una teoría científica y su introducción en España fué casi simultánea; por desgracia no ha ocurrido lo mismo en muchos otros casos y esperemos que cada vez ocurra menos; sólo hace falta que en España haya quienes estén al día al tanto de lo que se trabaja y publica en el extranjero.

La prueba del prestigio de Cabrera en esta Academia es que fué el elegido para tener el primero de esta serie de discursos inaugurales en 1921, siendo de los más

no es fácil señalarlo; pero podía muy bien ser el mismo que le indujo a elegir el tema, el cual lo declara explícitamente, al principio de su discurso, o sea, que lo mismo que yo en este momento, creía «que sería de su parte una lamentable equivocación empeñarse en distraer a sus oyentes con ideas y resultados que, sin poder llegar que los miraba con verdadero arrobamiento paternal, creyendo que tenían positivo interés para la conquista progresiva de la verdad oculta por la Naturaleza y cuyo descubrimiento es el fin último de la Filosofía natural, con todo no son adecuados para lograr la finalidad que, sin duda, persiguieron aquellos a cuya iniciativa se debía la institución de esta fiesta académica de la inauguración del curso» con una disertación de uno de sus miembros. Los trabajos del especialista y las citas de las fuentes donde se inspiran le interesan a él y a los dedicados a esa especialidad (2); al resto de los

jóvenes y que, en cuatro distintas ocasiones, tuvo la representación de la misma para contestar los discursos de recepción de los Sres. Sánchez Cuervo, del Campo, Palacios y Moles. Además, él fué el encargado para significar la satisfacción de la Academia al recibir en ella como miembro corresponsal a Alberto Einstein, en una sesión extraordinaria que presidió S. M. Don Alfonso XIII en la primavera de 1923. Es lástima que no se conserven impresos los discursos de Cabrera y Einstein en esa ocasión, porque Cabrera, con muy buen tino, enumeró y desglosó los variados descubrimientos de Einstein en Física Teórica, prescindiendo de la *Teoría de la Relatividad*, a pesar de ser él uno de sus más entusiastas propugnadores y propaladores en España. En su respuesta, Einstein agradeció mucho ese detalle, citando un dicho de Klopstock, en que hacía constar que, más que las alabanzas anodinas, le deleitaba y satisfacía el ser leído con atención.

Lo que tal vez saben muy pocos es que su gran mérito, fruto de su inteligencia y constancia, consistió en que, a pesar de ser casi un autodidacto en Física Experimental, en Física Teórica y, sobre todo, en Matemáticas, logró adquirir tal dominio, por lo menos relativo, en estas tres disciplinas, de métodos científicos tan diversos, que nunca se precipitó en las rarezas a las que se puede decir que, inevitablemente, tienden los autodidactos.

(2) Hay que hacer una distinción entre las distintas ciencias: las Ciencias Exactas son las más áridas e inaccesibles a profanos a ellas; las Naturales son más variadas e interesantes, aun a los mismos no iniciados en sus secretos. De modo que es muy difícil *popularizar* o *vulgarizar*, como se dice ordinariamente, las primeras de una manera digna; y, en cambio, no cuesta mucho amenizar un tema de las segundas. Precisamente en la serie de veintisiete discursos inaugurales que se han leído en este salón, es notoria esta diferencia. Las Ciencias Físico-Químicas ocupan un lugar intermedio: a todos interesa la bomba atómica, la Aeronáutica, la Radio, etc., pero a muy pocos los espinos, las estadísticas, el cálculo matricial, el espacio de Hilbert abstracto, etcétera. Sin embargo, todo es necesario.

mortales, aun a los que son eminencias en otras ramas, les es, en general, muy aburrida su enumeración y análisis. Desfilan ante sus ojos y oídos una multitud de nombres y hechos, cuya unidad e importancia no puede apreciar inmediatamente, pierde el hilo de la argumentación y todo lo que se le diga le produce el mismo efecto que a un ser vivo la superabundancia de alimentos sin masticar ni digerir, que en lugar de reparar sus fuerzas y darle energías, fatigan su organismo y le producen bascas.

La segunda observación es que, aunque en el discurso de Cabrera se encuentran cuarenta y un nombres propios distintos, de los cuales treinta son modernos (o sea, de hace menos de un siglo) y uno de ellos, el de Maxwell, está repetido hasta nueve veces, no hay ni uno solo castellano, ni portugués. Siete son ingleses, dos norteamericanos, diez son franceses, quince alemanes, un suizo, un italiano, un holandés, un danés, un húngaro y un ruso, además de Euclides, que, por ser de la antigua Grecia, puede considerarse como internacional. No hay que admirarse mucho, ni creer que esta ausencia de nombres españoles es tendenciosa en ningún sentido: Terradas, en sus «Lecciones sobre Física de materiales sólidos» (Madrid, 1943) y Palacios, en sus dos tratados «Calor y constitución de la materia» (Toledo, 1935) y «Mecánica Física» (Madrid, 1942), muy posteriores al discurso de Cabrera, cuando en España se han hecho grandes adelantos en el estudio de la Física, así teórica como experimental, a pesar del empeño de ambos en dar a conocer, tanto lo que se ha trabajado como lo que se ha publicado en España, citan muy pocos nombres y trabajos españoles, comparados con los extranjeros. Franceses, ingleses, alemanes y norteamericanos en sus trabajos de investigación y en sus libros de texto, procuran, en cuanto les es posible, a veces de una manera descarada, citar nombres de investigadores de su nacionalidad o afín, y omitir, también en cuanto les es dable, los nombres de los investigadores de otras nacionalidades. Si se pudiese hacer en Matemáticas o en Física, lo que se puede hacer en ajedrez o en fútbol, o sea, poner frente a frente dos personas o dos equipos, entonces se po-

dría ver si somos o no los españoles aptos para ellas (3); pero como esto no es posible, hay que contentarse con hacer lo que hizo Cabrera hace treinta y un años (y lo enunció con toda claridad), o sea, «crear este ambiente científico para dar mayor impulso al adelantamiento de la ciencia nacional ya iniciado. Hacer obra útil para conquistar el respeto y la consideración del mundo sabio, en medio de una sociedad *absolutamente* (4) indiferente, sin recibir el calor que da la crítica favorable o adversa de quienes inmediatamente nos rodean, es cosa que sólo pueden realizar mentalidades fuera de la medida común, que por desdicha de la Humanidad son bien escasas, lo mismo en España que fuera de nuestra patria». A este párrafo, que he copiado del discurso de Cabrera, agrego esta observación personal: Durante muchos años he hablado y oído hablar en público, en Congresos internacionales, en conferencias y

(3) Como este tema ha sido abordado en este salón y en muchos otros en España, siempre con pasión y tesis prefijada, desde el célebre discurso que leyó D. José Echegaray el 11 de marzo de 1866, *De las matemáticas puras en España*, al ser recibido en esta Academia pronto hará un siglo, creo que no es conveniente volverlo a tratar ahora, ni con pasión ni sin pasión, ni con tesis prefijada ni sin ella. Sólo quiero hacer dos observaciones, fruto de mis largos años de estancia en el extranjero: nunca se ama más a España y se siente uno más español, que cuando oye calumnias contra España, las más disparatadas e injustas, que, por absurdas, ni se pueden repetir aquí: si tuviéramos millones, cañones, tanques, acorazados y aeroplanos, todas esas calumnias cesarían automáticamente. Los que hablan con pasión de ese tema, harían una labor más útil, no sólo a España, sino a sí mismos y al mundo entero, si el talento y la tinta que gastan en la propaganda, lo gastaran en el estudio.

(4) No creo que hoy, en 1952 y en España, se pueda decir como hace treinta y un años que la sociedad sea *absolutamente* indiferente al progreso científico; la segunda guerra mundial, con todas sus ineludibles calamidades, y, sobre todo, la bomba atómica que la zanjó en un momento en agosto de 1945, demostró, aun a los más indiferentes, que con la ciencia y la técnica de la más elevada calidad se llega a resultados que afectan a la historia total del género humano. Si Hitler, como parece que lo había proyectado, la hubiera podido utilizar seis meses antes, cuando ya los ejércitos aliados habían invadido Alemania por el Oeste y por el Este, tal vez hubiera sido muy distinto el resultado de la guerra; si mejor o peor, Dios lo sabe; pero de que nadie hubiera escapado a la influencia de semejante acontecimiento, ni fuera ni dentro de España, no cabe la menor duda. Esto prueba que si la Ciencia contemporánea, en especial la Física, no ha hecho a los hombres más buenos, más agradables, más felices, más civilizados que sus predecesores, los ha hecho, por lo menos, más temibles y más aptos para imponer su voluntad a los que no la poseen que en tiempos anteriores.

en otras ocasiones, y también en privado, en conversaciones particulares y hasta íntimas, a los más eminentes matemáticos y físicos de estos últimos treinta años; todos, sin excepción, deben su energía y merecida fama, tanto o más que a su talento y laboriosidad personal, al estímulo que les ha producido el ambiente científico que les ha rodeado. La Ciencia y el Arte puede ser que se inspiren principalmente en la meditación solitaria; pero no pueden crecer en el desierto; necesitan un medio apropiado para desarrollarse y para no degenerar en monstruos raros y estériles.

Con estas observaciones, entro en materia.

Dos aspectos enteramente diversos y que algunas veces están aparentemente en pugna, existen en la Física, que casi le son peculiares: el experimental y el teórico. Del primero apenas si habló Cabrera hace treinta y un años, a pesar de que lo hubiera podido hacer con mucha competencia; tal vez lo omitió por modestia o porque no le pareció bastante interesante para el público. Pero hoy me parece que sería inexcusable que lo pasara yo por alto, aunque, por otra parte, no me parece conveniente detenerme demasiado en ello.

Cuando uno lee, y hasta en ciertos casos, uno puede ver los restos de los aparatos que usaron los grandes descubridores de todos los siglos hasta el pasado inclusive, se queda admirado de cómo pudieron con tan toscos instrumentos y tan imperfectas observaciones llegar a tan generales y maravillosas conclusiones. La enumeración completa sería larga; pero referir algún caso para probar la tesis, no toma mucho tiempo. En el «Institut Gramme» de Liège (Bélgica) me fué dado ver la primera magneto y la primera dinamo, que construyó el gran inventor; eso sería entre los años 1860-1870. No era ingeniero, ni siquiera técnico; cuando joven había sido carpintero; pero tenía ingenio y hasta genio. Cómo adquirió, de una manera empírica, los conocimientos vagos de Electrodinámica, que le eran absolutamente necesarios para la realización de su ideal de transformar la energía eléctrica en mecánica y viceversa, los cuales eran patrimonio de muy pocos, no es fácil averiguarlo; probablemente sería leyendo artículos, más o menos profundos, que vendrían a sus manos, que él leería ávidamente durante las horas, pocas en aquel tiempo de explotación

del hombre por el hombre, que le dejarían libre el trabajo manual con que había de ganarse el sustento. Las tres ideas del anillo, permeable a la vez que giratorio, de la corriente de excitación y del colector, es probable que se le ocurrieran en diversas etapas e intervalos de tiempo algo largos; el resultado fué que los experimentos de Oersted, las teorías de Ampère y las líneas de fuerza y leyes de inducción de Faraday encontraron una materialización concreta y práctica; que había de revolucionar la industria y la misma vida civilizada, más que el descubrimiento del vapor; pero a nadie se le ocurriría ahora empezar un trabajo de investigación con los instrumentos que usó Zénobe Gramme, los ordinarios de un carpintero al por menor, como todos los de aquel tiempo y otros que él mismo se fabricó, con todos los defectos de la elaboración casera. Casi lo mismo, aunque, tal vez, algo mejorado, cabría decir de Thomas Alva Edison, respecto de su lámpara eléctrica, su fonógrafo y otras muchas invenciones, aunque no he visto por mí mismo esos primitivos modelos.

Esta observación no solamente se refiere a los inventos que podríamos llamar *utilitarios* o *industriales*, porque han dado un impulso decisivo, no sólo a la industria, sino también a la economía y a toda la vida social. Aun en descubrimientos de índole puramente científica, sin ningún objetivo lucrativo, por lo menos inmediato, los instrumentos utilizados habían sido casi siempre de manufactura personal, podríamos llamar doméstica. A lo sumo los microscopios primero, las balanzas después, y, más tarde, los galvanómetros y reóstatos eran algo elaborado con más pulidez y no contruidos por el inventor o inventores; el resto eran aparatos cuyos elementos lo mismo podían servir para lo que se les destinó que para cualquier juguete de niños; la diferencia entre los niños y los sabios era que aquéllos recibían los juguetes y los sabios se los fabricaban ellos mismos (5).

En el siglo xx el método es enteramente diverso; no sólo las

(5) En esto hay para cada invento un triple proceso: el juguete de sabio, que sólo le entretiene a él y, a lo sumo, a sus amigos; el aparato industrial, y, por fin, el juguete que a veces, no sólo entretiene a los niños, sino también a personas mayores, como el cine y la radio que, además, tienen aplicaciones industriales. Es muy difícil establecer exactamente la separación de estas tres etapas.

casas constructoras de aparatos e instrumentos de Física, como las antiguas de Leybold en Colonia, de Leitz en Wetzlar, de Corradi en Zürich y muchas otras muy conocidas en Europa y América, sino las mismas grandes empresas industriales, como la General Electric en Schenectady, la Pirelli y la Marelli en Milán, la Siemens y la A. E. G. en Berlín y en otras poblaciones, tienen empeño en facilitar a los experimentadores, no sólo verdaderos instrumentos bien graduados y contrastados (y no meros juguetes como en otro tiempo), sino que, además, les ponen a su disposición todos los recursos que sus talleres, sus oficinas técnicas, sus laboratorios de ensayo, su experiencia constructora y hasta sus mismos investigadores les pueden proporcionar, dejando a salvo secretos profesionales o de elaboración que, como es natural, no los van a divulgar para que otros se aprovechen antes de ellos (6).

(6) Voy a citar un caso concreto en que actué meramente como espectador inmediato: el último año de nuestro destierro en Liège (Bélgica), 1935-36, quiso mi nunca bastante querido P. José A. Pérez del Pulgar hacer unos experimentos sobre las oscilaciones del campo electromagnético debidas a frecuencias ultrarrápidas: hasta entonces eran fáciles las observancias con onda larga y media y no eran difíciles con onda corta; pero se trataba de obtener en un laboratorio ondas extracortas, de sólo tres decímetros a lo más y aun menores y de ver los efectos de reflexiones, interferencias y desvíos que producían las paredes y otros obstáculos, además de decidir si la llamada «hipótesis de Hertz» de la no-existencia de acciones longitudinales de la corriente eléctrica, perfectamente demostrada en el caso de corrientes estacionarias o casi-estacionarias, es también verdadera en el caso de oscilaciones ultrarrápidas. Antiguamente, en la hipótesis del éter electromagnético, ese principio equivalía a decir que el éter era «incompresible», y sólo admitía ondulaciones transversales, nunca longitudinales. Como que parece que ahora nadie piensa en resucitar el éter electromagnético, esa «incompresibilidad» está fuera de discusión; pero no del todo, ni mucho menos, ha quedado zanjada la cuestión de la acción magnética longitudinal de las corrientes alternas de frecuencia altísima. Puede muy bien ser que realmente no existan tales acciones; pero no es un artículo de fe, y, por tanto, en Física, la experiencia es la única que ha de dirimir esa discusión.

Para ese fin, en lugar de aparatos y circuitos ordinarios, el P. Pulgar se dirigió, a fin de obtener aparatos más precisos, a la célebre casa Philips de Eindhoven (Holanda), bastante cerca de Liège, que aquí en España es conocida, sobre todo, por sus lámparas y aparatos de radio, pero que, de hecho, se dedica a muchísimas otras confecciones (entre otras, en grande escala, a la de material de baquelita). Con este motivo tuve que visitar las enormes instalaciones de Eindhoven, que bien podría llamarse *Philipsburgo*, ya que no sólo la fábrica, sino las calles, las tiendas, los bares, etc., no tienen otra razón de ser que Philips. Mañana y tarde estuve recorriendo salas y laboratorios; vi el departamento de investigación, que constaba de más de cuarenta seccio-

De manera que han cambiado los tiempos, por lo que se refiere a métodos de investigar en Física experimental desde principios de siglo. Ciertamente que ya entonces existían algunos laboratorios, pocos, donde el material no era todo pura quincalla; las conexiones de la Física con la Astronomía de Posición, enseñó a los experimentadores la utilidad del empleo de patrones y de instrumentos de alta precisión; pero estos aparatos son caros, tanto más cuanto más precisos, y de aquí la necesidad de reunir en un solo centro los recursos de varios, a fin de poder hacer frente a esos dispendios costosos. Tratándose de empresas industriales, los con-

nes independientes entre sí, cada una con su ingeniero-jefe y personal subalterno, muchos de los cuales eran también ingenieros, cuyas funciones eran muy delicadas. Una vez arreglado el proyecto de los aparatos que le hacían falta al P. Pulgar, me dirigí al *club español*, no porque hubiera ningún español, sino porque le formaban simpatizantes y estudiosos de nuestra lengua y nuestra cultura e historia, que, por cierto, me hicieron muchas preguntas sobre el *Mío Cid* y sobre nuestras tradiciones medioevales, a las cuales tuve que responder las más de las veces con evasivas, ya que jamás me figuré que habría de sufrir un examen de ese género. Por fin, el final me mostraron el laboratorio de rayos X donde, entre otras curiosidades, me enseñaron un generador, no muy voluminoso, para producir tensiones de millones de voltios. Al salir, el que hacía de guía, me preguntó con una sonrisa, aparentemente amable, pero algo más que irónica, si llevaba fotografías. Le mostré unas viejas sin ninguna peculiaridad, pero comprendí que no se refería a esas, sino a las que hubiera podido sacar durante la visita, si hubiera querido hacerlo clandestinamente, porque abiertamente, demasiado sabía yo que no me las hubieran dejado tomar. Como ni había tenido esa intención ni llevaba ninguna máquina dispuesta, la cosa no pasó de ahí; pero entonces comprendí por qué me habían enseñado la sala de rayos X a lo último, porque en ella, si alguien lleva películas sin fijar, aunque sean ocultas en los bolsillos, quedan veladas e inutilizadas. Esta es una experiencia personal de una de tantas precauciones que tienen en sitios de esa índole para evitar lo que podría denominarse *estafa o espionaje científico*. Sabido es que los matemáticos, físicos y astrónomos de los siglos XVII y XVIII se enviaban mutuamente la noticia de sus descubrimientos en cifra; en el siglo XX, aparentemente se prefiere la publicidad manifiesta; pero, en la realidad, la desconfianza es la misma y las precauciones se acomodan al ambiente.

A un buen ojo escudriñador, unido a un conocimiento adecuado acerca de lo que trate de averiguar, es muy difícil ocultar la verdad. Durante la segunda guerra mundial, casi se puede decir desde el principio, en que ya se tenían ideas algo concretas sobre la energía nuclear y la desintegración del átomo, ambas partes contendientes trataron de obtener cuanto antes esa arma formidable que había de llamarse la bomba atómica. Los alemanes, tal vez, iban un poco más adelantados en esa investigación respecto de sus enemigos, lo mismo que en la construcción de cohetes y, sobre todo, en la instrucción y equipo de tropas paracaidistas, con todos los requerimientos necesarios para invasiones rápidas por sorpresa. Sin embargo, ambos rivales se propusie-

sejos de administración fijan la cantidad y los locales, personas y aun trabajos que hay que realizar; pero muchas investigaciones no prometen resultados económicos a corto plazo y aun algunas a ningún plazo, de modo que no pueden ser emprendidas si no se cuenta con un Mecenaz, que en América han sido multimillonarios como Carnegie y Rockefeller, pero en los más de los países ha tenido que ser el Estado.

El resultado es que la investigación experimental, sin la cual la Física Teórica sirve muy poco, es ahora muchísimo más costosa que hace cincuenta años; pero, en cambio, los resultados son mucho más exactos. Estos resultados pueden ser de naturaleza absoluta o relativa; los últimos, en general, son mucho más fáciles y baratos y hasta interesan más que los absolutos. Por ejem-

ron dos objetivos: construir cuanto antes el más perfeccionado y mortífero artefacto para su propio uso y, además, ocultar lo más posible a sus enemigos sus propios adelantos y, a su vez, obtener la más completa información posible de los progresos del adversario. Dada la perfección del espionaje científico moderno, lo que resultó fué que unos y otros estaban perfectamente enterados, a fines del año 1944, acerca de los recursos y técnica atómicas del adversario, aunque tal vez no existía un solo científico que conociese bien *todos* los elementos necesarios para la elaboración de la terrible máquina; pero ésta ya no era meramente hipotética, sino algo ya en periodo de prueba. Los aliados, en especial los americanos, que entre ellos eran los más adelantados en estudio y producción y además tenían sus zonas de fabricación muy lejanas, prácticamente imposibles de ser bombardeadas por sus enemigos, estaban en muchísimo mejores condiciones que los alemanes para construir sus aparatos. Estos fueron bombardeados despiadadamente a principios de 1945 y no consiguieron confeccionarlos a tiempo. Esa *política del secreto* tuvo por resultado que ninguno de los aliados de Alemania, ni siquiera el Japón (a pesar de que muchos sabios japoneses, Yukawa, Takenchi, Nishina, etc., se habían dedicado a estudios atómicos, pero se conoce que el Gobierno no les dió importancia) tuvieron la menor idea de lo que se fraguaba, y de ahí la sorpresa de Hiroshima y Nagasaki en agosto de 1945. Los aliados también guardaron entre sí muchas cautelas, y de hecho, en 1945, los EE. UU. no sólo era la única nación que había elaborado y ensayado bombas atómicas, sino que era la única que poseía el secreto completo. Ahora, en 1952, ya no es lo mismo; pero los americanos no sólo han fabricado más, sino también mejores (quiero decir más mortíferas) armas atómicas, que por dificultades diplomáticas y de política interna, se ve que no tienen mucha prisa en poner en acción, prefiriendo más infundir miedo con la amenaza que lanzarse al ataque total, cuyo resultado inmediato tal vez sería el obtenido en 1945 contra el Japón; pero, ¿y el mediato? Nadie lo sabe, como nadie sospechaba en 1945 el giro que había de tomar la política internacional al cabo de unos años de cese de hostilidades en Europa.

Tal vez me he extendido un poco más de lo que debiera en esta descripción, pero no creo que haya sido inútil.

plo, el estudio de las variaciones del campo magnético terrestre o el del campo electromagnético en un motor es mucho más atractivo que el de las medidas absolutas de los mismos; pero, en último resultado, la evaluación de constantes absolutas y la de variaciones temporales son igualmente necesarias en la investigación. Los que las determinan, dirigen sus esfuerzos en uno u otro sentido, según sus aficiones, o según los medios de que disponen, o de lo que creen de mayor utilidad, y, conforme a sus objetivos, organizan su plan de trabajo.

Ya desde el siglo pasado, en el arte de la determinación, tanto de constantes físicas como de evaluación de variaciones, existen dos escuelas, más bien complementarias que antagónicas: la que podríamos llamar *inglesa*, por haber sido un astrónomo inglés, G. Airy (1801-1892), el que más la propugnó; y la que podríamos llamar *alemana*, por ser el astrónomo alemán G. Bessel (1784-1846) su principal autor. Según la escuela inglesa, las observaciones serán tanto más exactas cuanto más perfectos sean los instrumentos utilizados; por lo tanto, tiende a fabricar los instrumentos lo más rectificados posibles. En cambio, la escuela alemana parte del principio contrario al fundamento del derecho criminal: *Nemo malus nisi probetur*, nadie es malo si no se prueba; el principio de la escuela alemana es que un instrumento tiene todos los defectos imaginables, si no se prueba positivamente que no los tiene; de modo que, antes de emplearlo, se le estudia en todos los aspectos para ver qué defectos tiene y en cuánto afectan esos defectos a las observaciones. Los instrumentos de Física eran hasta hace bien poco, mucho más variados y toscos que los de Astronomía; tienen, pues, por lo general, muchísimos más defectos y más graves que éstos. He dicho que estas escuelas son más bien complementarias que antagónicas, porque ahora, en pleno siglo xx, se procura con todo empeño que los instrumentos, tanto los de los laboratorios como los de ensayos industriales, estén lo más rectificados posibles, y los medios de que se dispone para ello son mucho más variados y perfectos que los que poseían Airy y Bessel hace un siglo; pero, para observaciones delicadas no hay más remedio que tener en cuenta la imposibilidad de una rectificación perfecta y observar las peculiaridades de cada instrumento y hasta de cada pieza. Podrán unos

y otros ser intercambiables; pero no al estilo de los de una máquina, sino a los de un reloj, los cuales todos tienen un número individuante, como ocurre con cualesquiera otros instrumentos de precisión, los cuales, tanto si han sido encargados especialmente como si han sido contruídos en serie, lleva cada uno consigo la hoja de ensayo propia que le corresponde (7).

Es natural, una vez recorrida brevemente esta digresión sobre los progresos del instrumental en el extranjero, tanto en los laboratorios científicos como en los industriales, preguntar cuál es la situación *actual* de España respecto del mismo. Si se hubiese de prescindir del pasado y no dejarse llevar del ditirambo, al que fácilmente nos impele nuestra idiosincrasia latina, tal vez la respuesta sería algo pesimista; pero no pueden, ni deben tomarse estas consideraciones de una manera tan simplista. Por una serie de circunstancias históricas, de todos muy conocidas, y otras de carácter

(7) Es en Suiza donde se encuentran los mejores ajustadores del mundo; así lo reconocen ingleses, americanos y aun alemanes. A principios de siglo se trataba de hacerles la competencia, pero ahora no. En la Exposición Universal de París de 1937 lucían los franceses sus muebles de lujo, en lo que sobrepujan a todos; lo mismo ocurría con los otros pabellones de diversas naciones; sólo Suiza exhibía manufactura de relojes de bolsillo, cuyas marcas nos son muy conocidas; probablemente más de la mitad de los relojes que llevan los aquí presentes son de fabricación suiza. Dicho sea de paso, aunque no venga a cuento, también son los suizos los mejores tiradores del mundo; en cambio, no cuentan con un solo artista de primera línea, a pesar de que tanto sus características geográficas como su índole campestre, parece que les había de inclinar a la poesía, la música y la pintura y demás bellas artes, pero no es así. Tienen muy buenos matemáticos, físicos e ingenieros.

Su aislamiento político y la falta de costa, les priva de cualquier conato de expansión territorial; la absoluta carencia de carbón y de otros muchos minerales, necesarios para la industria pesada, les obliga a confiar económicamente en la buena, se puede decir insuperable, calidad de productos manufacturados para sus exportaciones. Con todo, sus dirigentes políticos, industriales y financieros, ven demasiado que llegará el día en que sus vecinos y rivales adquirirán esa habilidad manual que, por ahora, parece ser su patrimonio. En deportes de invierno, Noruega ya comienza a hacerles seria competencia, y lo mismo ocurrirá con todo lo demás. ¿Qué será de esa pequeña nación, modelo de civismo entre cuatro razas distintas con cuatro lenguas diversas? Es difícil predecirlo y aun conjeturarlo. Dado su aferramiento a los dos principios políticos de independencia dentro y de neutralidad fuera (en estos aspectos, no en otros, nos parecemos bastante los españoles), sin duda que buscarán una solución, por un lado lo más pacífica posible, pero por otro lo más original; nada de seguir los ejemplos de otros, ni de embarcarse en aventuras peligrosas; nada de gallear, ni de amenazar.

geográfico y económico, mucho más difíciles de examinar y precisar, nos encontramos a principios del siglo xx con un atraso científico e industrial equivalente a treinta o, tal vez, cuarenta años. La aspiración inmediata fué *esforcémonos por acortar y hasta anular esta distancia*; pero esto se podía decir fácilmente, mas no realizarlo con igual facilidad. Una enumeración completa (8) de los adelantos realizados estos últimos cincuenta años sería muy larga, gracias a Dios, porque la ciencia y la técnica españolas, debido a la iniciativa, al esfuerzo y a la perseverancia de muchos, cuyos nombres no suenan en la política y en la prensa, pero sí entre los que están verdaderamente interesados en el progreso científico e industrial de España, ha hecho, no que nos hayamos puesto al mismo nivel que los países más adelantados (lo que es imposible por ahora, porque esos países adelantan, por lo menos, al mismo paso que nosotros), pero sí que podamos confiar en que la distancia que nos separa no se aumentará y hasta en algún aspecto se acortará, como ocurre con la industria textil y algunas químicas y metalúrgicas.

• • •

Cabrera, en su discurso de hace treinta y un años, habla principalmente de dos acontecimientos, que podríamos denominar pal-

(8) Hace cincuenta años muy pocos estudiantes, aun entre los más aprovechados, sabían que existían *revistas científicas*, en las que los resultados no eran tan sistemáticos como en los libros de texto, pero que le hacen a uno comprender lo que es el progreso en la Ciencia. Ahora hay muy diversas instituciones, cuyo objetivo es abrir los ojos de los jóvenes en esta dirección. No puedo citarles todas, pero sería injusto, por ese temor, no citar ninguna. Quiero llamar la atención, por haberlas visto personalmente, la labor del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, tan extensa y variada y, en muchos casos, profunda en cuanto es dable. Con objetivo más concreto, la del Instituto Nacional de Técnica Aeronáutica Esteban Terradas. En ambas instituciones, además de recursos bibliográficos, se dispone de aparatos y métodos de operar y rectificar muchísimo más perfeccionados de los que pudieron emplear hace un cuarto de siglo D. Leonardo Torres Quevedo y D. Juan de la Cierva. Lo mismo se puede decir de los laboratorios de nuestras Universidades y de los de ciertas empresas particulares, como la Maquinista Terrestre y Marítima, la Empresa Nacional de Autocamiones, la de Motores de Aviación Elizalde y la de Maquinaria y Construcción en Barcelona, la de Construcciones Aeronáuticas en Getafe y la de Fundiciones del Ebro y Jordá en Zaragoza.

pitantes en la historia de la Física Teórica: la teoría de la Relatividad y la Teoría de los *quanta* (9). Ellas constituían entonces el *momento* actual de la Física.

Pero la teoría de la relatividad no ocupa ahora en la mente de los físicos el lugar que ocupaba hace treinta años; la razón es que tratándose de acciones o perturbaciones del orden de las diezmillonésimas (10) a lo sumo, que es el cuadrado de la razón de las velocidades estelares (las mayores relativas que se conocen) a la velocidad de la luz, es muy difícil contrastarlas por observaciones, nunca por experiencias. Al cabo de esos treinta años se discute, con alguna razón, no sobre la misma teoría, que puede considerarse como definitivamente incorporada a la ciencia clásica, sino sobre los llamados *efectos Einstein*, que éste predijo como pruebas de la misma, o sea la desviación de los rayos luminosos por los campos gravitatorios, la desviación hacia el rojo de las rayas del espectro por la acción de los mismos campos y el corrimiento secular del perihelio de los planetas, en especial Mercurio. Su pequeñez es del orden de los errores de observación y no podrán darse por definitivamente resueltos hasta que no se disponga de

(9) *Quanta*, voz latina, nominativo del plural neutro. El singular correspondiente es *quantum*; no se usa la voz latina en casos oblicuos, ni en el nominativo masculino y femenino. Como que Cabrera fué el primero que usó esta voz en escritos castellanos, seguiré su ortografía y no la propuesta castellanizada *cuanto* y *cuantos*, cuya adopción es de la competencia de la Real Academia Española. Terradas, Académico de la misma y de la de Ciencias, usó casi siempre la ortografía latina.

(10) No en todas las experiencias físicas se puede llegar a la misma precisión relativa, por más perfeccionados que sean los aparatos; y en cuanto a las apreciaciones absolutas, la variedad es grandísima. Con el interferómetro de Michelson, en su célebre experiencia de hace más de sesenta años, se hubiera debido apreciar el *flujo de éter*, aunque el movimiento hipotético de la tierra respecto del mismo hubiese sido de sólo tres kilómetros por segundo, siendo así que, por lo menos, era diez veces mayor, también hipotéticamente. Pero en la determinación de las constantes físicas raras veces se puede llegar a tal precisión relativa. En una pesada es muy difícil asegurar más de cinco cifras por buenas que sean las balanzas; menos todavía en la medida de otras fuerzas, por ejemplo, en la componente horizontal del campo magnético terrestre y todavía menos en la componente vertical del mismo. En Astronomía no se ha podido pasar de las tres cifras para determinar la distancia media de la Tierra al Sol, que es la unidad práctica, tanto para determinar las distancias en el sistema planetario como las de las estrellas en la Vía Láctea y demás visibles aisladamente. De las distancias de las nebulosas espirales, apenas si tenemos idea del orden decimal a que pertenecen, y mucho más de otras acciones y observaciones.

métodos de computación que aprecien bien la centésima de segundo o, si se quiere, la cienmillonésima de circunferencia. Mientras tanto se supone que realmente existen esos efectos; pero no unánimemente, y no tendría nada de particular que observaciones más delicadas indujeran a negarlos (11). Pero nadie, que yo sepa,

(11) Hay que distinguir (y esto lo hizo prácticamente Cabrera, aunque no lo enunció explícitamente en su discurso) tres casos distintos acerca de las comprobaciones experimentales de una teoría matemática-física. El primero, el más frecuente, es acomodar una teoría a los hechos reconocidos, bien observados y suficientemente computados; los ulteriores descubrimientos estarán conformes con la teoría y, entonces, en cierta manera y provisionalmente, la corroboran; o discrepan algo de la misma y, entonces, hay que modificarla, de modo que cubran esa discrepancia; o están completamente en desacuerdo con la misma y, entonces, hay que o modificarla radicalmente o abandonarla del todo; o, lo que ocurre con mucha frecuencia, no se puede precisar si están o no conformes, ni en qué grado y, entonces, no hay más remedio que precisar más las observaciones, y, mientras tanto, permanecer en suspenso. Tal ha ocurrido con la teoría de la gravitación de Newton, corroborada con el descubrimiento de Urano por Herschell (1783) y todavía más por el de Neptuno (1848) por Leverrier y Adams, que lo hicieron por cálculo y no por observación; ésta comprobó sus cálculos. Pero otras observaciones en el sistema planetario no pudieron ser comprobadas en esta forma predictiva; porque por más que se los buscó, nunca han podido ser observados los Vulcanos, o sea, planetas intramercuriales, que Leverrier se había obstinado en predecir por los mismos procedimientos de cálculo que le habían servido para descubrir Neptuno y a Gauss para reencontrar el primero de los planetas telescópicos. Abandonada la teoría de los Vulcanos, se pensó en modificar la ley de Newton, o bien suponiendo que en la ley de atracción no era la fuerza exactamente inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre las masas que se atraen, sino a una potencia fraccionaria un poquito mayor que la segunda; o bien que, además del término de Newton, hubiese otro muy pequeño inversamente proporcional al cubo u a otra potencia entera superior. Aceptada esta enmienda no era difícil averiguar las constantes para que las observaciones fueran conformes a la teoría. Pero hay dos hechos que no pueden acomodarse a este reajuste: el irregular movimiento de la Luna y las perturbaciones del movimiento propio de Sirius, la más brillante estrella del firmamento visible, debidas al influjo de un compañero, de masa casi la mitad de la de Sirius, pero de octava magnitud, que no pudo ser descubierto sino con un potente telescopio. Si la teoría de Newton era buena para ese par, resultaría que la densidad de ese compañero sería casi diezmil veces superior a la de los demás astros, fijos o errantes conocidos, y, a la verdad, esa cifra parece exagerada. Por fin, hay muchas observaciones sin explicación, como, por ejemplo, porque la densidad media de la tierra es 5,5, siendo así que en la superficie apenas si llega a 2,5.

El segundo caso es el de una teoría inventada para cubrir ciertos hechos, pero que no puede ser independiente de otros ya observados. Tal fué el caso de la teoría de la relatividad, tanto restringida como generalizada; se trataba de explicar el resultado negativo del experimento de Michelson y de muchos otros para determinar la velocidad relativa de la tierra y el éter electromagnético, vehículo de las ondas luminosas y mu-

se ha atrevido a negar la validez de la observación de Michelson, hace ya casi setenta años, de que las franjas de interferencia de la luz monocromática no varían haciendo girar el interferómetro y, por lo tanto, que no existe el *flujo de éter* (elástico de Fresnel o electromagnético de Maxwell-Hertz, poco importa cual), a través de los cuerpos en movimiento; consecuentemente, se adoptan como verdaderas, en segunda aproximación, las fórmulas cinemáticas de Lorentz-Einstein, con todas las secuelas acerca de los conceptos de espacio y tiempo absolutos, de simultaneidad, de masa de inercia variable, etc. Tampoco se niega que el principio de equivalencia entre aceleraciones y campos gravitatorios no sea exacto y, consecuentemente que el espacio relativo real puede no ser euclídeo, que los rayos de luz pueden ser *cerrados*, como las líneas geodésicas de un elipsoide, aunque de hecho jamás se hayan observado, y, por fin, que conforme a las teorías del canónigo G. Lémaitre de Lovaina, el espacio físico tienda a dilatarse (también podría contraerse). Ya es mucho más hipotético el que todas las acciones físicas puedan explicarse por solas modificaciones en el

chas otras. Después de las tentativas de la supuesta contracción de los cuerpos en movimiento de Fitzgerald y Lorentz, por fin, Einstein propuso y se aceptó que ese éter no existía, y con él desaparecían el espacio y el tiempo absolutos del neoplatónico Filopón y de Newton, que como observó Cabrera, eran admitidos sin controversia entre los científicos (no entre los filósofos) hasta el siglo actual. Hasta ahora no ha podido aducirse ningún hecho decisivo en pro de la teoría, pero menos todavía en contra; pero se la echa en cara que hay muchísimos fenómenos, ópticos y electromagnéticos, que quedan al margen de la misma, para los cuales ella no da ninguna explicación.

Por fin, el tercer caso, muy frecuente, es el de teorías basadas en hechos obvios e incontrovertibles de índole casi popular, pero que no son fáciles de ser expresados por reglas matemáticas precisas. Tales son, por ejemplo, la mayoría de las que se refieren a la constitución de la materia y, en general, las que tratan de declarar el concepto metafísico, no físico, de *sustancia*. El hecho de que existe *variedad* (y bien grande, por cierto) de propiedades entre los diversos entes, cuerpos físicos observables con los sentidos, no admite discusión seria; tampoco la admite que esas propiedades *cambian* con circunstancias de lugar y tiempo; tampoco la admite el que en los seres vivos (cuyo estudio pertenece a la biología, ciencia de procedimientos muy diversos de los de la física) existen la *generación* (*ontogénesis*) y la *corrupción* (*muerte*) ineludibles; fundado en esas observaciones innegables, pero hasta ahora irreproducibles artificialmente (y no se ve que se pueda conseguir esa reproducción artificial en ningún plazo, corto ni largo), concibió Aristóteles la teoría hilomorfística de la constitución de la materia, que después de dos mil años de controversia, dista muy mucho de estar desacreditada, aunque sean pocos los que la quieran defender en toda su integridad tal como fué enunciada.

Universo de Minkowski o espacio tiempo (12); esta observación, que Cabrera no la hizo, pero pudiera muy bien haberla hecho, me lleva a otra consideración que creo conveniente dilatar un poco en esta ocasión en que tratamos del momento actual de la Física.

En el pensamiento filosófico griego, o sea, de hace más de dos mil años, para la *explicación* (13) racional del mundo visible, hubo dos tendencias diversas y, en muchos sentidos, opuestas. Queremos o no queramos, esas tendencias perduran ahora, si no con la misma acrimonia, sí con la misma importancia; me refiero a la explicación, que podría calificarse de *animista*, por sus analogías con la Psicología y la que podría llamarse *mecanicista*, o también *materialista*, aunque no precisamente con el significado peyorativo de negación del alma humana y de la vida en general, a la que se suele aplicar ahora.

(12) A esta tendencia, que ya tenían algunos atomistas griegos, pero que, sobre todo, Descartes, al constituir la extensión actual como la esencia de la materia, dió mucho impulso, se llama, en lenguaje moderno, *geometrizar* la física.

(13) Subrayo la palabra *explicación*, no porque tenga la menor fe y simpatía por el agnosticismo, las formas sintéticas a priori y las categorías de Kant (o de quien quiera que sean), sino porque realmente es difícil *explicar* o *dar a entender* el alcance de la palabra *explicación racional*. En todas las disciplinas existen *enigmas* o *puntos muertos*, si no impenetrables o insolubles, por lo menos tales que el entendimiento humano ha progresado muy poco desde la más remota antigüedad en que se propusieron hasta el presente. Como ejemplo antiquísimo y tan sin averiguar ahora como hace dos mil años, pongo el de si puede o no existir el *infinito categoremático* (multitud infinita de seres, extensión o duración infinita, cualidad infinita, fuerza infinita, etc.) fuera de Dios, cuya infinitud es esencialmente incomprensible. En los libros de San Agustín (354-430) y, sobre todo, de Santo Tomás (1226-1274), se leen muchas disquisiciones metafísicas sobre el tema y ha quedado inmortal la frase célebre del último: *No se ha probado todavía la imposibilidad del infinito actual*. El P. Luis de Losada (1681-1748), jesuita, escribió en su curso de filosofía que «después que tantos y tan grandes ingenios se han devanado los sesos por probar esa imposibilidad, no tenía nada de particular que se hubiere conseguido el probarla». Pero los argumentos que aduce, que en el fondo no son otra cosa que la imposibilidad de que *el todo no sea mayor que la parte*, eran muy bien conocidos de Santo Tomás, y, sin embargo, no le persuadían.

En Física el número de *enigmas* es mucho mayor que en Matemáticas, en Biología mucho más que en Física, y en Psicología todavía más y, tal vez, la más enigmática de las Ciencias es la Lógica, sin la cual no se concibe ninguna ciencia. Este es el punto de partida de todos los agnósticos, no sólo griegos (Anaxágoras en el siglo V antes de J.C.), sino de todas las épocas y países, que, confunden la certeza con la exactitud y, por lo tanto, quieren que una *explicación racional* en la Ciencia sea un *non plus ultra*; la Ciencia verdadera jamás acabará de perfeccionarse, jamás dirá *basta*.

Platón, Aristóteles y Leibnitz, tres de los mayores genios que han honrado la humanidad, eran animistas; Leucippo (siglo VI a. de J.C.), Epicuro y Lucrecio después, que no pueden compararse con los tres citados, propugnaron el *atomismo*, el cual, durante muchos siglos, fué tenido como la tendencia materialista de la Física. Esta tendencia, con muy diversos matices, por ejemplo, la torbellinar de Descartes (1596-1650), la puramente atomista de Gassendi (1592-1655), la dinamista de Newton y el jesuíta Boschovich (1711-1787) y muchas otras ha prevalecido enteramente, por lo menos en la Cosmología del mundo inorgánico o azoico. La razón es, pura y simplemente, que es mucho más fácil reducir las teorías atómicas (que más bien convendría llamar *corpúsculares*, porque la palabra *átomo* ha perdido en el siglo actual el significado de *indivisible*, que era y es el etimológico) a fórmulas e ideas matemáticas que el animismo; las llamadas *propiedades* o *cualidades ocultas*, de las que tanto se burla Molière en el último acto de su MALADE IMAGINAIRE, no hay manera de reducirlas a expresiones matemáticas y la Física, desde Galileo hasta el momento presente, tiene a las Matemáticas como su medio de expresión y no quiere tener otro por ahora.

Esta predilección de los físicos hace más de tres siglos por el mecanicismo y el primer éxito de Einstein al proponer su teoría de la relatividad restringida como *explicación racional* de la propagación de la luz en los cuerpos en movimiento (14) y el segundo, al proponer su segunda teoría de la relatividad generalizada como *explicación racional* del movimiento de las masas en campos gravitatorios (15), indujeron a todos los físicos y físico-matemáticos a buscar una interpretación geométrica (16) al campo electromagnético. El decenio 1921-1930, que siguió al discurso de Cabrera, está lleno de trabajos de físicos de todo el mundo en este sen-

(14) Véase, por ejemplo, H. A. LORENTZ, *The Theory of Electrons*, cap. V, §§ 164-194 y notas 72*, 73, 74, 75*, 76. B. CABRERA, *Principio de Relatividad* (1923). Capítulos II y III.

(15) Véase, p. e., B. CABRERA (ob. cit.). Caps. V y VI.

(16) Véase, p. e., B. CABRERA (ob. cit.). Cap. VI, y H. WEYL, *Raum, Zeit, Materie*, § 40. En su discurso de recepción en esta Academia (18 mayo 1924), José M.ª Plans enunció clarísimamente, como solía él hacerlo, el problema de la *Geometrización* de la Física, y contiene abundante bibliografía de primera mano.

tido, de muy distinto valor, pero que demuestran el entusiasmo que había excitado el problema (17). Sin embargo, ni se llegó a una solución tan sencilla como la representada por el tensor-contrato de Riemann-Christoffel, que diera Einstein para explicar el campo gravitatorio, ni se llegó a un acuerdo entre las teorías propuestas. Con todo, antes de abandonar este tema, con el que tan entusiasmado estaba Cabrera, quiero hacer constar que ese delirio por la teoría de la Relatividad no ha sido ni mucho menos estéril, aun sin tener en cuenta sus discutidos resultados observacionales; esta acusación, que se aducía en una forma más apriorística hace treinta años y a la que dedicó mucho espacio, para refutarla, Cabrera en su discurso, posteriormente se ha repetido en diversas formas y lugares. Pero si uno tiene en cuenta que la Geometría absoluta y el Cálculo diferencial absoluto, los cuales antes de Einstein (1915) eran sólo patrimonio de media docena de sabios confinados, son, en cambio, ahora ciencia corriente que entra de lleno en la enseñanza universitaria en todo el mundo, se ve lo deleznable de la acusación; si no los resultados físicos, por lo menos los instrumentos matemáticos para obtenerlos han constituido un verdadero avance científico, como lo fueron en tiempos pasados el Algebra, el Cálculo infinitesimal, la teoría de formas, la teoría de funciones y la teoría de conjuntos, que han ido constituyendo la *moda matemática* en distintas épocas; ahora lo es (y ya hace por lo menos veinte años) el Cálculo de Probabilidades y sus aplicaciones a la Mecánica, a la Física, a la Biología y, sobre todo, a la Estadística.

Otra teoría mecanicista, pero no atomista, que guarda cierta semejanza remota con la torbellinar de Descartes y cuyo funda-

(17) En España quedaron inéditas dos conferencias de gran categoría sobre esta materia: la última de las tres que dió Terradas en esta Academia, en la primavera del año 1921, que tituló *Uniformización por medio de la teoría de los grupos*; y también la tercera y última de las tres que dió en la Universidad Central Einstein en persona, dos años más tarde, en la primavera de 1923, que tituló *La teoría de la Relatividad y el campo electromagnético*, de la que sólo se conserva un extracto de semivulgarización en la revista inglesa «Nature». La octava conferencia de H. Weyl en Barcelona y en Madrid (que, con las siete precedentes, fué publicada en alemán por su autor, con el nombre *Mathematische Analyse des Raumproblems*) trata de este punto, aunque algo de lado, porque el problema principal es puramente geométrico.

mento se encontraba esbozado en la observación de Hamilton, en 1824, de que los *rayos ópticos son caminos ópticos de tiempo mínimo*, y, a su vez, las trayectorias de los puntos materiales en un campo de fuerzas son de *acción mínima* (principio de Maupertuis, 1691-1759) y de *potencial cinética mínimo* (principio de Hamilton, 1801-1865) (18), es la llamada *Mecánica ondulatoria*. Hamilton no pasó de meramente señalar la analogía entre las ecuaciones de la óptica y las de la Mecánica analítica; fué un aristócrata francés, el príncipe *Luis Victor de Broglie* (19), el que en su tesis de Doctorado (1924, tres años después del discurso de Cabrera y un siglo justo después de las observaciones de Hamilton) el primero que quiso sacar partido físico de esa analogía. Si las superficies de onda son normales a los rayos ópticos, las superficies normales a las trayectorias dinámicas podrán considerarse como superficies de onda correspondientes al punto material que las describe. Muy poco después que de Broglie, el físico alemán Schrodinger propuso sus *ecuaciones de onda* y con esto creó esta nueva rama de la física matemática, que si no ha alcanzado la transcendencia al gran público de la teoría de la Relatividad (¡gracias a Dios!), ha sido más fecunda para el avance de la Física Teórica: pero no suelta, sino combinada con la teoría de los *cuánta*, con el principio de *incertidumbre* física y con las *estadísticas* físicas en general. Este conjunto constituye uno de los puntos más perspicuos del *momento actual de la física*, que Cabrera apenas si podía vislumbrar hace más de treinta años. Algo lo hizo con notable instinto, y voy a tratar de resumir sucintamente sus puntos de vista de entonces, hipotéticos en gran parte, comparándolos con los que son ahora

(18) La explicación matemática de estos dos principios, junto con el de *curvatura mínima* o *esfuerzo mínimo* de Gauss y Hertz y el teorema de Bertrand (1822-1900), se encuentran muy bien expuestos en el Cap. IX del *A Treatise on the Analytical Dynamics* de E. T. WHITTAKER (2.^a ed., 1917). También puede consultarse el Cap. XXV del *Traité de mécanique rationnelle*, de P. APPELL, muy conocido en España.

(19) Hasta el siglo presente, la familia De Broglie, una de las más nobles de Francia, sólo era famosa por sus generales y políticos. Pero en el siglo actual viven todavía dos miembros de la misma, los hermanos *Mauricio*, duque de Broglie, investigador en Rayos X y *Luis-Victor*, de quien se habla ahora, que han honrado su ilustre apellido con mayor y más duradero brillo, gracias a sus investigaciones físicas, que lo hicieron sus antecesores en el campo militar, político y literario.

hechos, no sólo averiguados, sino realizados y utilizados, y también con lo que todavía queda por averiguar.

Antes de entrar de lleno en materia, para mejor entenderla, creo que hay que tener en cuenta tres hechos científico-psicológicos:

1.º Es verdad que en Física actual se trata, lo mismo que en los tres siglos anteriores, de reducir y simplificar los elementos *no-materializables*, o, mejor dicho, *no-geometrizables* de la misma, pero no de un modo fanático y absoluto como ocurrió en tiempos anteriores, en especial hace treinta años, cuando Cabrera escribió su discurso. No se quiere volver de ninguna manera a la variedad casi infinita de las *cualidades ocultas* para explicar las visibles de la materia inerte, propia de los peripatéticos decadentes; pero tampoco se pretende la unidad que perseguían los atomistas y Descartes, idea que dominó bastante desde que Mendelejeff (1834-1907) descubrió la serie periódica de los elementos y de la que Cabrera se hace reflejo en su discurso. Hay que admitir, por lo menos, dos *cualidades* distintas, que son los *electrones positivos y negativos*; pero tampoco se puede decir que ellas solas basten, a pesar de las manifestaciones de Roberto Andrés Millikan, en su muy conocido tratado sobre *Electrones (+ y -)*, *Protones*, *Fotones*, *Neutrones*, *Mesotrones* y *Rayos cósmicos*. Ese *Monismo*, que el químico alemán W. Ostwald (1853-1932) quiso extender incluso a los seres vivientes y aun a los inmateriales, no figura ahora entre los axiomas de la Física, sino más bien al contrario.

No se trata de resucitar a Aristóteles contra Tales; los dos fueron grandes genios. Pero por más que se quiera, ni se deben multiplicar las *cualidades* más de lo necesario, ni se pueden reducir a una sola. Y adoptando el lenguaje moderno, ni se puede prescindir de las matemáticas sin destruir la Física, ni se puede reducir todo a fórmulas sin bastardear las observaciones.

2.º Aunque en Física actual no se rechaza lo que ha sido *bien* observado anteriormente, ni las leyes que se deducen de esas observaciones, a éstas solamente se les concede un valor aproximado, propio de lo que se llama *macrocosmo*, o sea, del mundo considerado, si no en conjunto total, por lo menos en grandes porciones, que envuelven cada una trillones de hechos; es así como se presenta a ojos

profanos. Pero a ojos inteligentes, escudriñadores y especialistas, estas leyes no bastan; la ciencia verdadera se refiere, principalmente, no exclusivamente (como pretenden algunos, p. e. *Johann v. Neumann*), a los elementos del universo, al llamado *microcosmo*, y, por la dificultad de precisión en el mismo, las leyes conocidas no son absolutas, sino sólo estadísticas.

3.º La Física actual siente, en general, no en absoluto y unánimemente, hacia el pasado más respeto que el que sentía hace treinta años; y esto no sólo en lo esencial, sino aun en lo que es meramente accidental, como, por ejemplo, en la enumeración de los principios de la Termodinámica (20). Este respeto no es contrario al verdadero progreso de la Física, sino más bien ayuda al mismo. Las faltas a este respeto proceden, por regla general, de individuos que no saben mucha física, pero que les gusta hablar de ella; alguna que otra vez, de verdaderos físicos y hasta eminentes como tales y universalmente reconocidos en ese aspecto, pero que no saben reprimir sus deseos, a veces pueriles, de metafisiquear, introduciéndose en terrenos de otras ciencias, psicología, y hasta religión y moral, en las que a la fuerza no pueden hacer más que un papel mediocre. Como los físicos se ríen, con razón cuando los no tales se meten en su terreno, lo mismo ocurre con ellos al invadir el ajeno (21).

(20) Tanto en el tratado clásico de Max Planck (principios del siglo actual, aunque con muchas ediciones posteriores), como en la *Introducción en la Física Teórica* del Prof. Cl. Schaefer, se habla sólo de los dos principios de la Termodinámica: el *primero*, debido a Joule en 1842, sobre el equivalente mecánico del calor, y el *segundo*, debido a Clausius en 1850, sobre la imposibilidad del movimiento perpetuo de segunda clase. En el más moderno tratado de E. A. Guggenheim (1949), por no alterar ese orden y nomenclatura, se enuncia como *principio cero*: "si dos sistemas están en equilibrio térmico con un tercero, están en equilibrio térmico entre sí", que sirve para definir el concepto de temperatura, mucho más antiguo que el de equivalente mecánico y el de entropía, pero que no había sido enunciado explícitamente.

(21) El caso de Galileo, quien, abandonando sus argumentos físicos en los que superaba a todos sus contradictores, se metió e interpretar la Sagrada Escritura, en lo que no pasaba de ser un no muy fuerte aficionado, se reproduce algunas veces, por ejemplo en Descartes y en Pascal y en el mismo Kant, como observó muy bien Poincaré en sus lecciones sobre *Hipótesis cosmogónicas*. Se puede ser muy buen físico y no saber tocar el violín; el profesor de Göttingen, Woldemar Voigt, primera autoridad en Física Teórica a principios de siglo (entre otras cosas fué el que introdujo en la Física el Cálculo de los triple tensores, ahora tan generalizado) era excelente violinista;

En virtud de estas observaciones, nadie se asombrará de que la Mecánica Ondulatoria, ya desde sus principios, muy poco posteriores a los ruidosos éxitos de la Teoría de la Relatividad, tomase de éstas muchos puntos de vista. Así, p. e., De Broglie usó para el estudio de la función de onda en las masas en movimiento la transformación de Lorentz y no la de Galileo, y así obtuvo la ecuación que lleva su nombre.

No es esta ocasión de enumerar las muchísimas y muy diversas aplicaciones de los métodos de la Mecánica ondulatoria a variadísimos problemas físicos, especialmente el de la constitución del átomo, según el modelo Bohr y al de las rayas del espectro correspondientes. Este problema, relativamente antiguo, pero que ha sufrido muchas modificaciones con el transcurso del tiempo, ha inmortalizado el nombre de Arnold Sommerfeld (1868-1946), que se puede decir dedicó a él toda su larga y fructuosa vida y cuyas conferencias pudimos disfrutar hace más de treinta años, cuando él estaba en la plenitud de su fuerza productora. Pero sí creo conveniente llamar la atención a un hecho particular, que, con todo, es muy frecuente en la historia de Física Matemática y es que, gracias a las investigaciones en *Mecánica ondulatoria* se han extendido las antiguas nociones de *Polinomios de Legendre* (1752-1834) y de *Laguerre* (1834-1886) a otros nuevos. Claro que, en parte, este hecho es debido a que los investigadores en este campo aplican los antiguos métodos de Monge, de Ampère, de Poisson, de Jacobi y de Chrystoffel, a los nuevos problemas que se les presentan; pero una vez iniciado el camino, no faltan ocasiones para modificar los métodos, adaptándolos a nuevas necesidades (22).

pero decía que se había dedicado más a la Física Teórica, porque para ella no se necesitaban cualidades tan excepcionales para sobresalir, como las que tuvieron Paganini y Sarasate en el virtuosismo del violín y, mediante ellas, adquirir universal renombre.

(22) Por ser un ejemplo corto, y que puede interesar, no solamente a los aficionados a la Física Teórica, sino a los muchos que entre nosotros se dedican a la no muy agradable tarea de preparar jóvenes para el ingreso en las escuelas especiales, voy a citar la aplicación de la ecuación de amplitud de Schrödinger al oscilador armónico lineal. Las llamadas por los autores especialistas *funciones propias*, que tan a menudo ocurren en mecánica cuántica, se reducen, por una serie de transformaciones, parecidas a las que se usan al tratar de las funciones esféricas y sus propiedades ortogonales, a la ecuación diferencial de las funciones de Hermite, cuyas soluciones ele-

Pero es conveniente insistir en que la fecundidad de los métodos de la *Mecánica ondulatoria*, no son debidos a esa mera analogía entre la Mecánica analítica y la Óptica geométrica, sino mucho más a la asociación de las concepciones de la Mecánica cuántica y de la Mecánica estadística a la Mecánica ondulatoria y en este terreno, Cabrera, que nada sospechaba, ni podía sospechar hace treinta años sobre la Mecánica ondulatoria, probó su intuición sobre el futuro desarrollo de la Física teórica. Los párrafos de su discurso más concluyentes en este sentido los he transcrito, con la debida licencia, en las notas que acompañan al presente, porque el leerlos (y todavía más el comentarlos) lo harían interminable (23). Pero el

mentales son los llamados *polinomios de Hermite*. Los coeficientes de estos polinomios son de la forma

$$(-1)^{n-m} 2^{n-2m} \frac{(n-2m+1)!}{m!(n-2m)!}$$

(23) «La situación cambió de aspecto una vez probado que aquellas partículas de electricidad negativa existen de modo permanente y en mayor o menor número para cada átomo. Dejando a un lado la posible existencia de una materia específica, era innegable que en su seno se acogen los electrones, a los cuales es lógico atribuir el carácter de órganos de relación de aquella materia con el éter, o si se quiere con la radiación luminosa. Así, pues, el camino a seguir para averiguar los detalles de la organización electrónica en el átomo, tanto por lo que se refiere a su distribución geométrica, como a las características dinámicas del sistema, debía ser el estudio de los espectros provocados por diversos modos de excitación, o los fenómenos que en los cuerpos determinan ondas externas de frecuencia conveniente; ni más ni menos que se pueden averiguar muchos detalles de construcción de los instrumentos musicales, ocultos a la investigación directa, estudiando los sonidos que emiten bajo la influencia de acciones definidas.

Ya en este camino, muy pronto hubo de reconocerse que la ciencia clásica era impotente para resolver el problema trascendental a que vengo refiriéndome, y ha sido el mérito de Bohr dar el primer paso en una nueva senda, adoptando como postulado fundamental la discontinuidad de la acción dinámica, cuya unidad natural es el *quantum* de Planck, lo mismo para determinar los elementos de las órbitas estacionarias de los electrones que para regir los procesos de emisión y absorción de energía que acompañan a los cambios de organización del sistema. Rompiendo por este modo con todo lo que es clásico para la ciencia elaborada hasta nuestros días, Bohr, Sommerfeld, Kossel y Landé, por no citar sino las figuras más salientes en este orden de conocimientos, han construido un modelo de lo que podría llamarse región electrónica del átomo, que en sus líneas esenciales puede describirse así: El lugar que cada elemento químico ocupa en la serie construida por Mendelejeff, lo que hoy se llama su *número atómico*, es igual al de electrones que integran la mencionada región. Este conjunto se halla distribuido en estratos o pisos, cada uno de los cuales se satura con un número determinado de ellos, de suerte que los pisos en cuestión van apareciendo sucesivamente

que tenga curiosidad de leerlos por su cuenta, podrá realmente asombrarse de que fueron escritos en 1921 y no en 1952 en que los progresos de la física nuclear se puede decir que han invadido todos los campos de la Física.

Pero, además de lo que Cabrera, haciéndose reflejo de lo que en su tiempo se decía, se escribía y se vislumbraba, dejó estampado en su discurso, más tarde se ha extendido el estudio al de la materia

cuando ascendemos en la serie. Los periodos de la clasificación de Mendelejeff corresponden precisamente a la ocupación y organización de un nuevo piso en el átomo. Así, en el H y el He existe uno solo, con uno y dos electrones, respectivamente; del Li al Ne los átomos tienen dos pisos, y en el segundo el número de electrones crece desde uno hasta ocho; entre el Na y el A existen tres pisos; del K al Kr, cuatro, y así sucesivamente.

Pero, además, los procesos de emisión y absorción de energía por parte de los pisos profundos del átomo, que corresponden siempre a los espectros de rayos X, revelan que cualquiera de ellos una vez formado conserva indefinidamente los rasgos característicos de su constitución, de suerte que las propiedades que de él dependen se modifican de un modo progresivo sin mostrar los cambios periódicos que manifiestan la mayoría de las propiedades físico-químicas y que sirvieron precisamente de base para la clasificación a que vengo aludiendo. Esta circunstancia revela, con evidencia innegable, que los fenómenos en que los elementos intervienen más frecuentemente, de los cuales procede el conocimiento que de ellos tenemos y que dan margen a toda esa ciencia mágica que se llama Química, sólo afectan al piso atómico en vías de formación. Pudiera decirse que de los átomos, como de los astros, sólo se nos ofrece fácilmente accesible la superficie.

* * *

Esta circunstancia explica cómo bastan los electrones para interpretar muchas propiedades de los elementos químicos, a pesar de ser notorio que en sus átomos existe algo más que dichos electrones. De una parte, la carga negativa de éstos necesita una cantidad equivalente de electricidad positiva, pues la materia se presenta las más de las veces en estado neutro. De otra parte, el peso atómico, base de la ordenación de los elementos hasta que muy recientemente se cayó en la cuenta del sentido físico del número atómico, es imposible de interpretar mediante los electrones. Ciertamente ellos tienen una masa propia mera consecuencia de su carga, pero su pequeñez es tal que no ofrecen base para reconstituir el valor de dichos pesos. Basta recordar que en el hidrógeno existe un solo electrón cuya masa apenas si excede de 5 diezmilésimas de la total del átomo, y aun esta relación va reduciéndose a medida que ascendemos en la serie de los elementos, para ser en el Ur de unas 21 millonésimas.

Estos dos elementos esenciales del átomo, carga positiva y masa material, han permanecido sumidos en el misterio hasta que Rutheford logró descubrir su paradero lanzando contra él los minúsculos pero formidables proyectiles constituidos por los rayos α de las sustancias radiactivas. Ellos, gracias a su pequeñez y enorme energía, pueden vencer la resistencia que el átomo ofrece a toda violación de su organismo, y

en estado sólido. Según la Mecánica clásica, los sólidos se dividían en completamente rígidos y deformables; el estudio de los primeros pertenecía exclusivamente a la Geometría, a la Cinemática y a la llamada *Mecánica racional* (que, según Sommerfeld, tenía muy poco de racional; tal vez esto es una exageración, pero encierra bastante verdad) y, en cambio, el estudio de los segundos, se hacía enteramente aparte, en lo que se denominaba *Mecánica práctica*

han encontrado aquellos elementos misteriosos reclusos en un volumen pequeñísimo, en el corazón mismo del átomo, formando su núcleo central.

Tal pequeñez sugirió inmediatamente al propio Rutherford el modo de interpretar la masa atómica; basta suponer que una carga positiva equivalente a la del electrón tiene un diámetro 1.830 veces inferior al de éste para que su masa sea igual a la del átomo de H. En tal hipótesis, dicho átomo debe hallarse integrado por esa carga de volumen pequeñísimo, que comienza a llamarse *protón*, a cuyo alrededor gravita un electrón, de modo comparable a como la Luna lo hace alrededor de nuestro planeta. Sin embargo, es necesario salvar en esta imagen la proporcionalidad de las dimensiones, pues supuesto el protón del tamaño de la Tierra el electrón satélite habría de alejarse más de diez veces la distancia del Sol a Neptuno.

Y aún logró Rutherford, con este método de bombardeo del átomo, averiguar mucho más acerca de la constitución de su núcleo; pues ha podido deshacer los del boro, nitrógeno, fluor, sodio, aluminio y fósforo extrayendo de ellos protones, mientras en el carbono y el oxígeno, cuyo peso atómico es un múltiplo exacto del He, no existe ningún indicio de aquéllos. Habida cuenta de que las partículas emitidas espontáneamente por el núcleo de los átomos radiactivos, son núcleos de He, parece imponerse la vieja hipótesis de Prout modificada en el sentido de ser el núcleo, y no el átomo íntegro quien ha de considerarse formado por núcleos de H, bien directamente, bien por el intermedio de los del He, que a su vez se suponen constituidos por cuatro protones y dos electrones. De aquí el nombre de protón con que se designa el referido núcleo de H.

Contra la hipótesis de Prout se esgrimió en su día el hecho cierto de que los pesos atómicos no sean múltiplos del correspondiente al H. Pero hoy sabemos que los cuerpos llamados simples por los químicos no ostentan con derecho este nombre en muchos casos, y desde luego en todos los que, siendo de peso no muy elevado, su expresión numérica es fraccionaria. Tales cuerpos, simples para el químico, son en realidad mezclas de diferentes elementos que se han denominado *isotópicos* en atención a que la mayoría de sus propiedades asequibles a la experimentación y en particular aquellas en que se fundan los métodos químicos de purificación y separación son idénticas para todos, pues, como decía anteriormente, tienen su origen en la región electrónica del átomo y principalmente en su piso más externo.

El escasísimo número de fenómenos en que desempeña un papel apreciable el núcleo hace que el conocimiento de su contextura escape aún a la Ciencia, si se prescinde de algunas ideas muy generales obtenidas por métodos tan indirectos que tienen más bien el carácter de intuiciones. Casi nos vemos reducidos a la radiactividad como única fuente de información, y la absoluta imposibilidad de intervenir con acciones exteriores en los procesos que en el núcleo de este tipo de cuerpos se producen, a consecuencia

(por ser la que interesaba a Ingenieros y Arquitectos) la cual tomaba las ideas de la Mecánica racional, pero las adaptaba a casos concretos, cuya solución se daba en forma casi exclusivamente empírica, introduciendo coeficientes a granel, en número tan grande y en calidad tan diversos, que casi se puede decir que las cualidades ocultas de los peripatéticos decadentes se quedan tamañitas en su comparación. La Mecánica de los cuerpos elásticos, debido, sobre todo, a los esfuerzos e investigaciones de Boussinesq, de Saint-Venant, de Lord Raleigh, de Love y de Voigt ocupaba un lugar intermedio; no era ni tan *racional* como la de los sólidos rígidos, ni tan *práctica*

de los cuales se rompe su equilibrio y se transmutan unos en otros, nos coloca frente a esta región del átomo, en una situación equivalente a la del astrónomo respecto de los fenómenos que ocurren en los sistemas estelares. Aún tropezamos aquí con el grave inconveniente de que los detalles del núcleo están muy alejados de nuestros medios de observación directa; siquiera en parte se halle compensado por ser la unidad de tiempo proporcionada a este mundo subatómico infinitamente menor que la correspondiente a los fenómenos siderales, de donde deriva la mayor frecuencia con que para nosotros se repite un mismo suceso de aquél. Tal circunstancia permite la aplicación correcta de los métodos estadísticos a los fenómenos radiactivos, mientras en la astronomía estelar apenas si se ha intentado su utilización.

(El *apenas* puede referirse a los trabajos de Kapteyn.)

* * *

No me es posible dar más detalles sobre este interesante asunto sin fatigaros demasiado, pero no quiero terminar sin llamar vuestra atención sobre una circunstancia singular: El modelo del átomo que acabo de bosquejar se ha elaborado utilizando como elementos constructivos el electrón y el protón, y la ciencia que sirve para estructurarlo, en la parte que hoy es dable hacerlo, admite como postulado esencial la existencia del *quantum* de acción. De este modelo, ya lo he dado a entender pero conviene hacerlo resaltar, derivan explicaciones para multitud de fenómenos no interpretados antes, con precisión tan grande que parece imposible una futura alteración esencial del mismo, y sin embargo, *aquellos elementos constructivos y aquel postulado esencial escapan plenamente a nuestra comprensión.*

Respecto al *quantum* basta repetir que significa la atribución de una divisibilidad limitada para la acción dinámica, magnitud que ha venido a nuestro conocimiento, no por intuición directa, sino creada por una Ciencia en la cual la continuidad es postulado necesario de sus razonamientos. En cuanto al electrón y al protón han quedado reducidos a dos cargas eléctricas finitas, negativa la una y positiva la otra, pero equivalentes en valor absoluto, que existen como una unidad, a pesar de carecer de soporte material y vulnerar la ley elemental de las repulsiones eléctricas que exige su completa disipación.

Fué Poincaré quien primero buscó el medio de superar esta dificultad de la teoría de Maxwell-Lorentz, imaginando una presión de naturaleza desconocida que equilibra aquella repulsión y que sólo actúa en el seno de las cargas en cuestión; pero es evi-

como la de los simplemente deformables. Ahora ya no es así; la Mecánica de los cuerpos sólidos, tanto en estado de equilibrio o casi-equilibrio, como en estado de movimiento perceptible, es de cuerpos constituidos por gran número (trillones por lo menos) de elementos discretos, a los que se atribuyen propiedades individuales y colectivas y, en este orden de ideas, es donde tienen aplicación las concepciones de la Mecánica ondulatoria y, más aún, las de la Mecánica cuántica y las de la Mecánica estadística. Las estadísticas propuestas son bastantes y bastante diversas entre sí: la más antigua, muy conocida de Cabrera, es la de Maxwell-Boltzmann, que se refiere, sobre todo, a flúidos perfectos. Después apareció la de Bose (físico indio contemporáneo, a quien, por residir en Calcuta, cuando estaba en su país, no tuve oportunidad de conocer; precisamente fué durante mi residencia en la India (1923-32), cuando dió a conocer sus métodos en Europa), a la que comúnmente se llama de *Bose-Einstein*, porque los trabajos de ambos fueron casi simultáneos; esta estadística se aplica más bien a la radiación. Por esa misma fecha propusieron, también casi simultáneamente, Fermi y Dirac una nueva estadística, que se aplica, sobre todo a los metales.

dente que a una hipótesis *ad hoc* de esta clase no ha de otorgársele otro valor que el de una expresión más concreta y precisa de la dificultad misma. Otro es el juicio que merecen los diferentes intentos que en estos últimos años se han hecho con el mismo fin.

Mie pretendió resolver la dificultad sin abandonar la teoría exclusivamente electromagnética de la materia, modificando las ecuaciones generales del campo de modo que se establezca una diferencia esencial entre el dominio interior del electrón y del protón y todo el espacio que les envuelve; diferencia contra la cual nada puede objetarse en principio puesto que la definición misma del campo eléctrico, magnitud fundamental de la teoría, no es ya aplicable en aquellos dominios. Sus razonamientos le llevaron a reducir todo el problema a investigar una llamada función del Universo que es invariante respecto del grupo de transformación de Lorentz en la relatividad restringida. Prescindiendo de que la función referida no está hoy unívocamente determinada, y de que necesita ser tal que interprete la asimetría existente entre el electrón y el protón, es el caso que, según Pauli señala, los potenciales eléctricos escalar y vector que la teoría clásica introduce como magnitudes auxiliares del cálculo, con una constante aditiva indeterminada, aquí aparecen totalmente definidos, con lo cual resulta que, colocadas aquellas unidades naturales de carga en una cavidad de un conductor metálico, las alteraciones en el potencial eléctrico de éste se traducirían por cambios en la estructura íntima de aquéllas, consecuencia que parece en flagrante contradicción con el teorema de las pantallas eléctricas, bien establecido en el orden experimental.» (Del discurso de B. Cabrera el 13 de noviembre de 1921.)

Las aplicaciones de estas estadísticas y los desarrollos matemáticos correspondientes son el objeto de artículos de revista primero, después de memorias y, por último, de tratados, cuando se suponen suficientemente establecidas y comprobadas. Nada hay que objetar a esto, aunque implican postulados que distan mucho de ser axiomas o principios apodícticos. Estos postulados, o no se enuncian de ninguna manera o si se enuncian es incompletamente y quitándoles todo relieve como tales. El primer postulado es que los fenómenos físicos admiten y hasta, en cierta manera, exigen un planteo matemático, lo que los franceses declaran por la frase «la mise en équations» que puede muy bien traducirse por «poner en ecuaciones», que es la versión al lenguaje científico moderno de la antigua frase que «en la naturaleza todo está regido por número, peso y medida». Esto será verdad admisible para el mundo inorgánico; para el mundo orgánico, si se trata de seres materiales realmente vivos, dista mucho de ser indiscutible, sino más bien al contrario, es mucho más aceptable el suponer que, además de número, peso y medida, hay que considerar otros elementos, cuya reducción a expresiones matemáticas no sólo no puede imponerse, pero ni siquiera aceptarse en principio. Como que la Física trata de cuerpos inertes y no de organismos vivos, sería una desviación del objeto del presente discurso discutir ahora este primer principio o postulado.

El segundo postulado es que las matemáticas proporcionan los medios para efectuar ese planteo; esto podrá ser verdad en el supuesto de que la Matemática abraza, no sólo lo que de ella se conoce actualmente, sino lo que se ha de conocer hasta el fin del mundo y de los hombres y aun más allá; y aun en ese plano, podrá ser verdad, pero no verdad indiscutible. Pero de la Matemática actual es enteramente falso semejante dicho, ni creo que nadie con autoridad lo mantenga seriamente. Ciertamente que muchas investigaciones matemáticas han nacido de la misma Matemática y no de fuera y después han recibido numerosas aplicaciones a la Física y otras ciencias; pero esas otras ciencias y la Física más particularmente (comprendiendo con el nombre de Física la Astronomía, así matemática como física) son las que han estimulado a los investigadores matemáticos y les han ayudado a abrir nuevos caminos. En es-

pecial la Mecánica ondulatoria, la Mecánica cuántica y la Mecánica estadística han encauzado muchísimas investigaciones de puros matemáticos, por ejemplo, de los dos franceses muy conocidos Henri Lebesgue y Emile Cartan y más recientemente el alemán americanizado Norbert Wiener, a quien tuvimos el gusto de oír en este mismo salón el año pasado. Así ocurre que, no sólo el cálculo de los cuaternios de Hamilton, sino el de números con muchísimas unidades heterogéneas, como los llamados de Clifford-Lipschitz y no sólo el espacio o el Universo de cuatro dimensiones, sino los de un número indefinido e ilimitado de dimensiones como los espacios de Hilbert (por supuesto con ciertas condiciones), han sido introducidos en los estudios especiales primero y en los generales después de Matemática y de Física. Hasta hace dos o tres docenas de años, el cálculo matricial y el de espinores era de la competencia de unos pocos iniciados; ahora se puede decir que es corriente, aun en libros elementales. El algoritmo de los determinantes infinitos era una pura curiosidad hasta el planteo, a fines del siglo pasado y principios del presente, de las ecuaciones integrales por Fredholm y Volterra; el estudio de los fenómenos de histéresis, tanto en Elasticidad como en Magnetismo, lo ha hecho mucho más corriente; pero la Mecánica cuántica los ha generalizado mucho más porque ya no se ciñe a determinantes, sino también a matrices de orden infinito, únicas que pueden satisfacer ciertas condiciones de ortogonalidad. De modo que si la Física requiere el apoyo de la Matemática para alcanzar precisión, en cambio, ha obligado a los matemáticos a investigar la ciencia en nuevos horizontes o, por lo menos, ha concretado estudios puramente abstractos a realidades físicas (24).

El tercer postulado tiene un doble aspecto: por un lado declara que los fenómenos naturales no proceden de un modo continuo,

(24) Viene aquí bien recordar que las elucubraciones de Apolonio de Pérgamo (III siglo a. d. J.C.) sobre las cónicas eran pura curiosidad matemática hasta que Kepler y Newton, dos mil años más tarde, descubrieron que las órbitas de los planetas alrededor del Sol eran, en segunda aproximación (la primera es que son circulares), elipses (o parábolas e hipérbolas) en que el Sol ocupa uno de los focos (el segundo foco todavía no se sabe el papel que desempeña, aunque, según los geómetras, los dos focos son iguales; en sus propiedades, según los cinemáticos, ya no es lo mismo).

como se supuso hasta el siglo pasado inclusive, sino por saltos, muy pequeños, pero no infinitesimales; con razón se compara a las leyes que rigen las transacciones monetarias, que suponen el mínimo del *céntimo* en los países latinos, del *centavo* en Estados Unidos y en América en general, del *farthing* en Inglaterra, del *pfenig* en Alemania, del *kopek* en Rusia, del *milésimo* en Próximo Oriente y del *pie* en la India; pero al declarar dicho mínimo, lo proclama inobservable y sólo apreciable mediante concepciones teóricas y convenios. Este es el punto más débil de la Mecánica cuántica, que puede ser que los que ya hemos avanzado en la vida, los que hemos nacido en el siglo XIX, no veremos rechazar definitivamente, como nuestros predecesores del siglo pasado murieron creyendo firmemente en los fluidos imponderables y el éter elástico o electromagnético; pero que cierto que no durará medio siglo y del que se reirán nuestros sucesores, como nosotros nos hemos reído de nuestros antepasados, sin dejar de reconocer su ingenio y hasta genio.

Creo necesario observar respecto de este hipotético *mínimo*, algo parecido con un hipotético *máximo*, o sea, con las distancias estelares (25). Hasta el siglo XIX, casi no se tenía idea alguna de esas distancias estelares; aun de las distancias planetarias, la fundamental, la distancia media de la Tierra al Sol (unos 150.000.000 de kilómetros, que la luz recorre en poco más de ocho minutos) apenas estaba precisada. La tentativa de Bradley (1692-1762) para determinar la paralaje de las estrellas, sólo le sirvió para descubrir el fenómeno de la *aberración de la luz*, cuyo efecto es, por lo menos, 25 veces mayor que el que buscaba de la paralaje; pero, por ser común a todas las estrellas, no daba la menor idea de la distancia de las mismas a nuestro sistema planetario. Ya entrado el siglo XIX, o sea hace poco más de un siglo, se determinaron tres paralajes, la del

(25) Sobre este punto no es posible dar una bibliografía completa; pero sí quiero insinuar a los que no tienen casi idea del mismo, la lectura del opúsculo *Los atraentes problemas de la moderna Astronomía*, por el P. ANTONIO ROMANÁ, Doctor en Ciencias y correspondiente nacional de esta Academia, actual Director del Observatorio del Ebro y Vocal del C. S. I. C. Este opúsculo fué editado por la editorial «Redención», en los talleres penitenciarios de Alcalá (1940), y, aunque de carácter vulgarizador (apenas si se ve una fórmula) contiene muchísimas ideas que encierran aun ahora, después de muchos progresos en los doce últimos años, el actual estado de la cuestión.

α Centauri (*Rigil Centauro*) por Henderson en Capetown, la del 61 Cigni por W. Bessel en Koenigsberg y la de α Lyrae (*Vega*) por O. Struve en Dorpat (nombre ruso de la ciudad de Estonia, que los naturales llaman *Tartu*). Los valores que obtuvieron eran muy inciertos, de modo que durante el resto de siglo se fueron rectificando y así se descubrió que la primera era un poco mayor de la realidad y, en cambio, las otras dos eran bastante menores relativamente; a principios del siglo xx sólo se tenía idea de la paralaje de 60 estrellas y de sólo 15 (entre ellas seis de primera magnitud, las dos citadas y *Sirius*, *Procyon*, *Capella* y *Aldebarán*) se estaba bastante seguro. Pero cuando para determinar las distancias estelares fue sustituido el método geométrico de las paralajes por el fotométrico de los brillos, el número de distancias estelares, más o menos determinables, ha aumentado extraordinariamente. En resumidas cuentas, sabemos que hay grupos estelares a distancias del orden de 10^{22} kilómetros, más de dos millones de veces la distancia entre nuestro sistema planetario y Rigil Centauro, la estrella más cercana (26). Pues bien, no creo que haya nadie que piense que se ha llegado al *máximo*; y aunque se pudiera aceptar (y es mucho aceptar) que el mundo visible actualmente tenga dimensiones conjeturables (y es mucho conjeturar), no creo que nadie juzgue que ya no se pueda pensar que existan otros mundos siderales además del nuestro, del que la Galaxis es una parte pequeña, siendo nuestro sistema planetario, aunque se suponga mil veces mayor que la distancia del Sol a Plutón, un conjunto pequeñísimo de la Galaxis, y nuestra Tierra, que tan grande nos parece, un planeta pequeñísimo de nuestro sistema planetario.

Pues bien, tal vez pueda parecer mucha osadía hacer otra observación análoga respecto del *mínimo*, y al hacerla hay que procurar no dejarse llevar demasiado de la imaginación, como era habitual en el famoso astrónomo y magnífico escritor de fines del siglo pasado, C. Flammarion, fundador del Observatorio de Juvissy,

(26) S. S. Pio XII, en la audiencia que concedió a los asistentes al Congreso Internacional de Astronomía el 7 de septiembre del presente año, hizo una muy bien resumida historia de estos descubrimientos (véase la traducción al castellano en «Ecclesia», núm. 584, correspondiente al 20 de septiembre). Después estuvo conversando con sus auditores en seis lenguas diferentes.

cerca de París. Pero resulta que la misma concepción de Niels Bohr, que casi desde principios de siglo se puede decir que goza en la Física la supremacía que ocupaba el siglo pasado la del éter elástico de Fresnel o la que después le sustituyó del éter electromagnético de Faraday, Maxwell y Hertz, implica que cada átomo es un sistema planetario completo, pero con características relativas bastante diferentes del que conocemos, tanto por lo que toca al número y calidad de elementos, como a sus dimensiones relativas, a sus distancias mutuas y, sobre todo, a sus increíbles velocidades, mucho más que las relativas observables. Flammarion pondría en seguida habitantes racionales en dichas partículas y a base de esos seres hubiera escrito una conmovedora novela, por supuesto con una tesis prefijada en contra de la Iglesia Católica (27); pero volviendo a argumentos más serios, si cada átomo es, hasta cierto punto, comparable nada menos que a todo un sistema planetario, ya se deja entender cuánto se podría escudriñar en cada partícula del mismo.

Grande o pequeño, largo o corto, en el espacio, en el tiempo, en la masa, en la carga eléctrica, en la revolución alrededor de ejes, etc., etc., son ideas meramente relativas a nosotros, no en sí. Y repitiendo un dicho antiguo: «Dios, cuya grandeza y sabiduría admiramos en las cosas grandes, no es pequeño en las pequeñas, sino, si cabe, más admirable y más grande en ellas, como lo sería un relojero que fabricase un reloj de una micra de diámetro».

Además de estos tres postulados, la Física moderna acepta otras dos leyes (o principios) que se deducen lógicamente del tercero, y

(27) Precisamente en ese discurso de S. S. Pío XII, citado en la nota anterior, hay el siguiente párrafo: «La amplitud adquirida por la concepción cósmica, que ha destronado legítimamente a la antigua geocéntrica y antropocéntrica, reduciendo, podría decirse, nuestro planeta a las dimensiones de un grano de polvo astral, y reduciendo el hombre a la de un átomo de ese polvo, al relegar a uno y a otro en un rincón del universo, no constituye un obstáculo —como algunos han afirmado al tratar del misterio de la Encarnación— para el amor ni para la omnipotencia de aquel que, siendo puro espíritu, posee una superioridad infinita sobre la materia, cualesquiera que puedan ser las dimensiones cósmicas de ésta en espacio, tiempo, masa y energía».

Estas palabras, por supuesto, no encierran una definición dogmática, ni mucho menos; pero demuestran cuál es el sentir ordinario de la Iglesia Católica y de su Cabeza visible sobre esta materia.

que, además de su importancia física, tienen un alcance metafísico, no del todo fácil de penetrar, ni aun por los mismos que los han formulado: el principio de *exclusión* de W. Pauli (1925) y el de *incertidumbre* de W. Heisenberg (1927).

El principio de exclusión, al afirmar que *no puede haber más que un electrón que corresponda a un sistema de cuatro valores o números cuánticos*, n (cuántico principal o de órbita), l (cuántico azimutal), m (cuántico magnético) y sp (spin o de rotación, que sólo puede valer $\pm \frac{1}{2}$), individualiza los electrones por sus propiedades. Sería largo y poco a propósito discutir si un elemento material puede individualizarse por otra cosa que por sí mismo; como que, por otro lado, de este principio de exclusión no se ha seguido ninguna controversia especial, sino la general sobre el mecanicismo absoluto, no vamos a insistir ahora.

Afortunadamente, como dije antes, la Mecánica Ondulatoria, ni sola, ni asociada a la Cuántica y a la Estadística, no ha trascendido al gran público, como ocurrió hace treinta años con la Teoría de la Relatividad, de cuya trascendencia se originó una gran confusión. Pero entre los entendidos en la materia, comenzando por el mismo Heisenberg, que lo enunció en 1929, el *principio de incertidumbre* ha dado algo que hablar, no sólo especulativamente, sino también tendenciosamente.

No es este lugar, tiempo, ni ocasión para hacer apologética, aunque bien la hicieron *Pascal* en su PENSAMIENTOS y *Newton* en sus PRINCIPIOS MATEMATICOS DE LA FILOSOFIA NATURAL. Ahora sería, tal vez, reputado de mal gusto; sin embargo, en uno de sus opúsculos, el Prof. *Max Born*, de Göttingen entonces, hacía resaltar que seguía la religión judía (declaración que no hacía falta para entender nada de lo que defendía) y, en cambio, cuando el régimen nazi estaba en el pináculo de su gloria, después de sus espectaculares victorias en Polonia, en Dinamarca y en Noruega, en Holanda y en Bélgica y en Francia, en Serbia y en Grecia, los eminentes físicos G. Müller y J. Stark, profesores de Física Teórica en la Universidad de Munich, dieron dos conferencias sobre el tema *Física judía y alemana* en que las figuras de Heisenberg, Planck, Sommerfeld, Einstein, Bohr, Schrödinger, Born, Jordan quedan estigmatizados como judío-dogmáticos en

contra de los que ellos llamaban germano-pragmáticos, entre los cuales se considera el más perspicuo, pero no el único, el mismo Juan Stark. Todas estas manifestaciones, en pro o en contra, realmente son de pésimo gusto, no sólo científico, literario o político, pero aún más social, porque nadie puede tomar en serio exposiciones, por eruditas que parezcan, si la pasión sustituye a la razón.

Pero el caso del principio de incertidumbre de Heisenberg y de Schrödinger obliga a reflexionar en un sentido menos científico tal vez, pero ineludible por la manera como se ha enfocado. Hubiera podido ocurrir lo mismo con el de *exclusión* de Pauli; pero que yo sepa nunca ha sido tratado en ese aspecto y, por eso, no me ha parecido conveniente el levantar esa liebre del principio de individuación.

Según Starck fué Sommerfeld el primero que quiso sacar *consecuencias teológicas* de este principio de incertidumbre de Heisenberg. Creo que es arduo e inútil querer averiguar quién echó la primera piedra en esta disputa; dada la psicología del mundo científico moderno, ella había de surgir tarde o temprano. De hecho hace ya veinte años que la oí expuesta con toda claridad; pero en aquel tiempo me pareció un pretexto para suscitar controversias que nada tienen que ver con el verdadero progreso científico; y, consecuentemente, no me pareció digna de estudio.

Fué hace tres años, en la traducción de los FUNDAMENTOS MATEMATICOS DE LA MECANICA CUANTICA de *Johann v. Neumann* por *R. Ortiz Fornaguera*, cuando vi expuestas las *premisas*, no las consecuencias de esa disputa teológica: es al final del párrafo segundo *Demostración de las Fórmulas Estadísticas* del Capítulo IV, *Construcción deductiva de la teoría* (págs. 230-233 de la traducción, págs. 170-173 del original alemán (28) editado en 1932,

(28) «Así, y dentro del marco de las condiciones indicadas, ha quedado decidida la alternativa a que aludíamos en el párrafo anterior, y el fallo es opuesto a la causalidad: todas las colectividades están afectadas de dispersión, incluso las homogéneas.

Debiórase discutir aún la cuestión planteada en III, 2 acerca de los *parámetros ocultos*, es decir, la cuestión de si las dispersiones de las colectividades homogéneas caracterizadas por las funciones de onda φ (o sea, por V_2) no serían acaso debidas a que esas no son los verdaderos estados, sino solamente mezclas de varios, mientras que para la caracterización del estado real, junto a la indicación de la función de onda φ , quizás fuesen menester otros datos (los «parámetros ocultos»), de modo que

por J. Springer, Berlín). No se saca, explícitamente, ninguna consecuencia; pero la palabra *ancestral* hace ver claramente qué es lo que se pretende y contra quién va todo este párrafo; es un gran paso, para la inteligencia de proposiciones algo oscuras, el saber a favor o en contra de quién van dirigidas. El haber oído de antemano de qué se trataba, me sirvió también para orientarme.

El objetivo es doble: negar la validez del argumento metafísico

aquella juntamente con éstos todo lo determinen causalmente, esto es, conduzcan a colectividades sin dispersión. La estadística de la colectividad homogénea ($U = P[\varphi]$, $||\varphi|| = 1$) resultaría entonces promediando sobre todos los estados reales de que se compone; o en otros términos, promediando sobre aquel dominio de los valores de los «parámetros ocultos» que se realiza en dichos estados. Pero eso es imposible por dos motivos: Primero, porque en tal caso la correspondiente colectividad homogénea podría ser concebida como mezcla de dos colectividades diferentes, contra la definición de colectividad homogénea. Segundo, porque las colectividades sin dispersión, que debieran corresponder a los estados «reales» (es decir, las constituidas por simples sistemas en el mismo estado «real»), no existen. Obsérvese que no ha sido necesario entrar en los pormenores del mecanismo de los «parámetros ocultos»: los resultados de la Mecánica cuántica que se encuentran fuera de duda no pueden obtenerse de nuevo en ningún caso acudiendo a tales parámetros. Es más, incluso está excluido que existan las mismas propiedades físicas con los mismos vínculos (esto es, que valgan I y II) cuando a la función de onda acompañan otros elementos determinantes («parámetros ocultos»).

Tampoco bastaría la existencia de otras magnitudes físicas aún no descubiertas, además de las hoy conocidas y representadas en Mecánica cuántica por operadores. Pues ya respecto de éstas dejarían de cumplirse las relaciones que postula dicha teoría (es decir, I y II). No se trata, por lo tanto, en modo alguno, de una cuestión de interpretación de la nueva Mecánica, como se ha supuesto en más de una ocasión; más bien debiera ser esa esencialmente falsa para que fuese posible un comportamiento en los procesos elementales distinto del estadístico.

Otra circunstancia hay digna de mención: A primera vista las relaciones de indeterminación muestran un cierto parecido con los postulados fundamentales de la teoría de la Relatividad. Se afirma en ésta que es fundamentalmente imposible determinar la simultaneidad de dos sucesos que ocurren en dos puntos separados entre sí por la distancia r , con una precisión mayor que el intervalo temporal $\frac{r}{c}$ (c = velocidad de la luz). Las relaciones de indeterminación, por su parte, nos dicen que es fundamentalmente imposible determinar la posición de un punto material en el espacio de las fases con una precisión mayor que un dominio de volumen $\left(\frac{\lambda}{4\pi}\right)^3$. Sin embargo, existe entre ambos casos una diferencia fundamental. La teoría de la Relatividad niega ciertamente la posibilidad de una medición de simultaneidad exacta, objetiva; pero, con todo, es posible, introduciendo un sistema de ejes de Galileo, establecer en el Universo un sistema de coordenadas que permita una definición de la simultaneidad que coincide suficientemente con nuestros conceptos normales que a ella se refie-

principal que suele darse en las escuelas cristianas para probar la existencia de Dios y, además, la posibilidad y, sobre todo, la cognoscibilidad de los milagros, fundamento de la apologética católica. Hace ya mucho más de un siglo que Kant primero y, sobre todo, sus discípulos Fichte, Hegel y Schopenhauer intentaron lo mismo; y, más tarde, en general, los racionalistas modernos y contemporáneos. Pero, dejando antiguas discusiones, el que lea el párrafo citado de la obra de v. Neumann ve bien claro que *se identifica el*

ren. No se concede un sentido objetivo a esta definición de simultaneidad, porque este sistema de coordenadas puede elegirse de infinidad de maneras distintas, de lo que resultan infinidad de definiciones de simultaneidad distintas, todas ellas igualmente lícitas. O sea: tras la imposibilidad de la medición, reside una ambigüedad infinita tocante a las posibles definiciones teóricas. Otra es la cosa en Mecánica cuántica: en ella es completamente imposible describir un sistema al que va asociada la función de onda ψ mediante puntos del espacio de las fases, incluso ni acudiendo a nuevas coordenadas (hipotéticas, inobservadas), a los «parámetros ocultos», pues esto conduciría a colectividades sin dispersión. O sea: no sólo es imposible la medición, sino incluso toda definición teórica racional (es decir, aunque indemostrable empíricamente, como en teoría de la Relatividad, por lo menos también empíricamente irrefutable). La imposibilidad fundamental de la medición descansa, por ende, en que, en un caso, existen infinitas definiciones del concepto en cuestión que no contradicen la experiencia inmediata, mientras en el otro no existe ninguna que no contradiga las hipótesis fundamentales generales de la teoría.

En resumen, podemos caracterizar la posición de la causalidad en la Física de hoy del siguiente modo: En el dominio de lo macroscópico no cabe experiencia alguna que la apoye, ni puede haberla, pues la aparente ordenación causal del Universo en lo grande (es decir, el de los objetos perceptibles a simple vista) no tiene con seguridad otra causa que la «ley de los grandes números», independientemente de si las leyes naturales que regulan los procesos elementales (las auténticas leyes reales) son o no de carácter causal. Poco tiene que ver con la causalidad el que objetos macroscópicos iguales se comporten macroscópicamente de la misma manera: iguales realmente no lo son, pues las coordenadas que determinan los estados de sus átomos casi nunca coinciden y el punto de vista macroscópico se alcanza al promediar sobre éstas (parámetros ocultos). Con todo, el número de tales coordenadas es muy grande (para 1 gr. de materia, cerca de 10^{25}), y el efectuar el promedio trae consigo, en virtud de conocidas leyes del cálculo de probabilidades, una considerable disminución de todas las dispersiones. (Naturalmente, esto en general. En algunos casos particulares —movimiento browniano, estados inestables, etc.— falla esta aparente causalidad macroscópica.) Tan sólo en lo atómico, en los mismos procesos elementales, pudiera realmente comprobarse la cuestión de la causalidad; pero aquí, y en el estado actual de nuestros conocimientos, todo habla en su contra: la única teoría formal hoy existente que ordena y compendia nuestras experiencias en forma casi satisfactoria, esto es, la Mecánica cuántica, se encuentra respecto de ella en irreductible contradicción lógica. Sin duda, sería una exageración el afirmar que con esto ha quedado suprimida

principio de incertidumbre con el de *indeterminación* y, por el contrario, el de *causalidad* con el de *determinación*; si lo primero es pasar de lo subjetivo a lo objetivo, actitud, por lo menos, peligrosa, cuando no enteramente falsa, lo segundo es pasar del principio de razón *necesaria* al principio de razón *suficiente* y si se puede negar el primero, cierto que no se puede negar el segundo, sin tener que cerrar todos los libros de ciencia y dedicarnos a algo más práctico. Esta observación, que debo a mi triple hermano Ramón, actual profesor de Física Teórica en Bombay, es, a mi juicio, suficiente; pero, además, hay otra observación en el texto de v. Neumann (y no creo que sea suya exclusivamente), que no hay más leyes en la Física que las estadísticas (o cuánticas, en general); esta afirmación es enteramente gratuita, muy discutible y en contradicción con la *ley de los grandes números* que no deja de regir en Física, como en Matemáticas y en todas las demás ciencias. Si pudiéramos hacer como Dios, que tiene contados los cabellos de nuestra

la causalidad: en su forma actual, la Mecánica cuántica es ciertamente incompleta e incluso puede suceder que sea falsa, si bien esto último es muy improbable en vista de la asombrosa eficacia que manifiesta para la comprensión de los problemas generales y el cálculo de los particulares. A pesar de que la nueva Mecánica coincide brillantemente con la experiencia, y nos ha mostrado toda una faz del Universo cualitativamente nueva, nunca puede decirse de una teoría que está demostrada por la experiencia, sino tan sólo, que es el más completo resumen conocido de la misma. Sin embargo, y con todas estas reservas, podemos afirmar que no hay actualmente ni excusa ni motivo alguno para hablar de causalidad en la Naturaleza, ya que ninguna experiencia apoya su intervención: las experiencias macroscópicas son para ello esencialmente inadecuadas, y la única teoría conocida compatible con las relativas a los procesos elementales, la Mecánica cuántica, la contradice.

Se trata, eso sí, de un ancestral modo de ver arraigado en todos los hombres, pero en modo alguno de una necesidad lógica (como lo prueba el que se haya podido sentar la teoría estadística), y quien se dirige al objeto, sin prejuicios no tiene ningún fundamento para aferrarse a ella. ¿Está justificado, en estas condiciones, sacrificarle una teoría física racional? («Los Fundamentos Matemáticos de la Mecánica Cuántica», págs. 230-233).

Creo que el excelente libro de J. v. Neumann no hubiera perdido nada de su valor epistemológico si hubiese suprimido esta larga perorata, o la hubiese reemplazado por otra consideración, más sintética y objetiva y menos polémica. Por supuesto que muchos conceptos son verdaderos, por ejemplo, «nunca puede decirse de una teoría que está demostrada por la experiencia, sino, tan sólo, que es el más completo resumen de la misma» al que sólo falta el adverbio *completamente* después de «demostrada» y el adjetivo *propuesto hasta ahora* después de «resumen».

cabeza y llama a cada estrella por su nombre y a cada pájaro como a todos a la vez y a cada electrón, mesón, neutrón y rayo cósmico en particular, sin la menor confusión, podríamos dispensarnos de la ley de los grandes números; pero mientras nuestra memoria y entendimiento no crezcan muchísimo más de lo que son actualmente, tenemos que recurrir a las ideas y leyes universales en todos los ramos del conocimiento, y estas ideas y leyes no son más que distintas aplicaciones de la ley de los grandes números.

Claro que negadas las leyes físicas macroscópicas quedan negadas las infracciones o suspensiones de las mismas, que implican la posibilidad y cognoscibilidad de los milagros; pero es que éstos nunca se han referido a fenómenos microscópicos, sino siempre a *cosas patentes y raras* a la vez; por la primera razón pueden ser apreciadas por cualquier inteligencia por basta que sea y por la segunda han de asombrarle, que en eso consiste el milagro. El traer las conclusiones de la Mecánica Estadística para negar la posibilidad y cognoscibilidad de los milagros, equivale a negar la capacidad para discernir en materia de religión a los que no conocen la Mecánica Estadística, que son todos los hombres, excepto muy pocos y aun entre éstos pocos habría mucho que discurrir. Me gustaría ver la cara que hubiesen puesto San Agustín, Santo Tomás de Aquino, Pascal, Newton, Cauchy y muchos otros, si les hubiesen dicho que no podían investigar sobre los fundamentos de la religión porque no sabían Mecánica Estadística y que su manera de discurrir era sólo a base de una *influencia ancestral*.

Quitado este desgraciado aspecto teológico, el principio de incertidumbre es enteramente admisible en el ámbito científico; sus *verdaderas* consecuencias son tanto o más constructivas que las que hace un siglo sacó Clausius del principio de la entropía o degradación de la energía, de la que no se supo dar una interpretación física hasta casi cincuenta años más tarde; y también que las que sacó Einstein del principio de relatividad hace cuarenta y cinco años. Será imposible seguir el pensamiento moderno en Física, sin tener en cuenta que los resultados no son del todo determinados, por lo menos en cuanto al conocimiento que de ellos podemos tener, del mismo modo, que sea el que sea el *concepto objetivo de simultaneidad*, el subjetivo, que podemos alcanzar por reglas y re-

lojes, depende del movimiento relativo del observador, sin que esto afecte a la objetividad de los fenómenos observados.

* * *

En el último decenio, el *momento actual de la física*, sin dejar de estar constituido por las Mecánicas modernas, asociadas entre sí, ha tomado una orientación particular, que no puede omitirse, tanto por sus consecuencias técnicas (energía nuclear, bomba atómica, cibernética, etc.) como por haber transcendido al gran público y, por esta razón, haber dado origen a una vasta literatura, con sus ineludibles desviaciones algunas veces a tópicos enteramente disparatados, de los cuales el más famoso es el *cerebro electrónico*.

Tres objetivos distintos ha tenido la investigación en esta época: militar, industrial y puramente científico, en orden histórico, aunque no enteramente separados entre sí, sino compenetrados.

Del militar, a pesar de ser el que más ha interesado al gran público, no pretendo hablar ahora. Nuestros tres compañeros de Academia, D. Julio Palacios, D. Obdulio Fernández y nuestro llorado Esteban Terradas (e. p. d.), lo hicieron muy competentemente, el primero en conferencias particulares, sobre el radar y los cohetes dirigidos, muy poco después de terminadas las hostilidades, y los otros dos en las conferencias de apertura y de clausura de las fiestas por el Centenario de la Academia. Después de esas fechas se ha escrito mucho, sobre todo acerca de la utilización para fines militares de la energía nuclear, que no es, ni más ni menos, que consecuencia de la Mecánica Cuántica y Estadística; pero la información *objetiva* que se puede adquirir es escasa y de segunda mano, influida por la imaginación de los canales por donde circula; me refiero a la tan traída *bomba de hidrógeno*, de la que he visto muchas relaciones, incluso ilustradas con figuras y hasta caricaturas, pero sin valor científico alguno; ya se guardan bien de comunicar los que hacen descubrimientos de este género, y el espionaje actual funciona tan activamente o más, que como funcionaba durante los años de operaciones militares. Si se hacen públicas algunas observaciones, como las de este verano en Monte Bello (Australia occidental), son siempre para infundir miedo, nunca para re-

velar secretos. Los principios son del dominio de los técnicos de todas las grandes potencias y aun de las pequeñas, como dijo muy intencionadamente Stalin; pero los detalles técnicos, muchísimos en número y variadísimos en la naturaleza, son peculiares a cada cuerpo de investigadores de cada nación y procuran con gran ahinco que no los puedan averiguar los de las naciones rivales y aun amigas. No sé si realmente se consigue este secreto, pues continuamente nos llegan noticias de procesos por revelaciones de secretos atómicos; pero los que no pertenecemos a estos contubernios, solamente sabemos los fundamentos teóricos y las proporciones prácticas que guardan. Los explosivos a base de compuestos químicos inestables sustituyeron desde mediados del siglo pasado (nitroglicerina, nitrocelulosa, trilita, etc.) a las pólvoras antiguas, cuya onda explosiva era mucho más lenta; los actuales explosivos atómicos guardan una relación parecida con respecto de esos compuestos químicos inestables como la que éstos con los explosivos de mezcla; pero los métodos para hacerlos actuar y para que sus efectos se produzcan en una zona determinada están todavía muy por perfeccionar y a eso tiende la técnica.

El objetivo industrial consiste en aprovechar esa fuerza en forma económica. Tiene muchísimos aspectos: el más atrayente es la fabricación de motores de gran potencia específica. El problema del transporte, tanto de personas como de mercancías, ha sido y será siempre uno de los más importantes para la humanidad y no cabe duda de su solución. Depende su solución, en gran parte, de la posibilidad de motores de gran potencia específica. También es muy interesante el problema de las fuentes de energía; pero sabemos que muchas de ellas, conocidas de muy antiguo, como la de las tempestades, la de las mareas, la del oleaje, la del calor solar no han podido ser utilizadas industrialmente; la de los caudales regulares de agua se puede decir que desde el siglo pasado está definitivamente resuelta, pero aun así las instalaciones son caras y requieren mucho tiempo de estudio. En este siglo se ha tratado de aprovechar las fuentes irregulares (avenidas, vientos, etc.) y hemos oído conferencias, como las del Prof. Milne-Thomson en los tres últimos años, en este sentido; pero dista mucho de poderse afirmar que podemos prescindir de los procedimientos que nos legó el siglo

pasado. Ensayos se hacen o, por lo menos, se proyectan, a fin de ver si será posible a los hombres abandonar la corteza terrestre, no sólo en la atmósfera, sino penetrando hasta lo más profundo de los mares o en el espacio interplanetario, más allá de la acción de la gravedad terrestre; y también, para sustituir la hulla, el petróleo y los saltos de agua por otras fuentes de energía más potentes. Todos estos intentos no pasan de puros proyectos y no se puede decir si han de ser las energías nucleares las que hayan de realizar esa sustitución o que habrá que buscar otras de mejor *rendimiento*, que es, en último término, la razón formal de la industria y hasta de la técnica en general.

El objetivo puramente científico es el que ha dado resultados más concretos, algunos de los cuales ya los tenemos dentro de nuestras fronteras y otros esperamos tenerlos pronto. Cuando Cabrera escribió su discurso en 1921, ya se habían hecho bastantes ensayos para transmitir la palabra por radio y para imprimirla en películas; aparte de exposiciones teóricas en 1915, recuerdo haber visto ensayos de ambas cosas en una visita al acorazado «España» y a la Central de Cuatro Vientos; pero hasta 1926 no se generalizó en todo el mundo y un año más tarde en España. En 1933 pude ver en Turín ensayos ya bastante adelantados para transmitir imágenes; pero todavía tardó más de diez años en obtenerse imágenes nítidas y dificultades económicas y sociales no han permitido la televisión en España. Por fin, el gran descubrimiento debido a la Mecánica Cuántica, el microscopio electrónico, en el que han trabajado muchos cuerpos científicos de muchas naciones a la vez desde 1930, no pudo ser realizado hasta 1940 y la guerra nuestra y la mundial retrasaron su adquisición para nuestros laboratorios. En cambio, muchos pequeños procedimientos son corrientes en ellos, incluso con miras técnicas y aquí sí que no puedo menos de citar los grandes progresos en las instalaciones del I. N. T. A. en Torrejón, debidos a los esfuerzos de nuestro Terradas y de su director, el Coronel Felipe Lafita y personal adjunto.

Queda todavía por inventar un telescopio o refractor que, utilizando los descubrimientos electrónicos, permita, por lo menos, duplicar no sólo la magnitud, sino aún más la nitidez de las imágenes. En otros dominios de la Óptica nos constan los ensayos muy

alentadores del Laboratorio de Marina, que dirige nuestro compañero D. José M.^a Otero y los talleres de Precisión de Artillería, a cargo de D. Pedro Méndez Parada.

Pero no puedo terminar este tema y, con él, este ya demasiado largo discurso, sin hacer alguna referencia a lo que, tal vez, pueda llamarse el más reciente adelantó en el *momento actual de la Física* y que ha trascendido al gran público, si no tanto como la bomba atómica y la televisión, por lo menos en más proporción de la que convendría, falseando su verdadero aspecto científico y desviándolo hacia locuras intelectuales y, por supuesto, a conatos de *consecuencias teológicas*, que nada tienen que ver con el progreso científico, sino más bien lo entorpecen: la *Cibernética*.

Su origen lo describe bastante bien el Prof. Norberto Wiener, a quien tuvimos el gusto de oír el año pasado, aunque es de lamentar que las conferencias que dió en España no las hayamos podido ver impresas, porque es muy distinto el conocimiento que se saca de una teoría meramente oyendo conferencias, en las que es imposible apreciar los matices, tanto los más fuertes y seguros, como los más vulnerables. El ha escrito su libro y otros muchos han escrito muchos artículos, de elevado carácter científico unos, de vulgarización los más y en todos estos escritos es dable aplicar una muy dilatada gama de aspiraciones y de insinuaciones. El libro creo que tiene una decena de reimpressiones en cinco años y ha sido traducido a todas las lenguas cultas; si la traducción castellana no ha aparecido todavía, ha sido por dificultades extrínsecas; pero no tardaremos mucho en verla.

Wiener es, ante todo, un matemático. Hace ya casi seis lustros que desempeña el cargo de profesor en el *Instituto Tecnológico de Massachusetts* (Cambridge, Mass. U. S. A.) y ya en 1932 había publicado su obra sobre las integrales de Fourier, que es de las mejores que se conocen sobre ese tema y que representa un destacado avance en el mismo. Pero, además, es un aficionado a muchas otras ramas de la cultura científica: técnica, física teórica, fisiología, literatura, geografía, lingüística, etc., conjunto muy variado; por lo que ha escrito se ve que su ideal es enteramente enciclopédico, algo así en el siglo xx como lo fueron Pascal, Newton y Leibnitz en el siglo xvii y, ya mucho menos, Poincaré a fines del pasado.

La Cibernética no es producto exclusivo de su ingenio; pero es a la vez el más proeminente de sus cultivadores y el más entusiasta de sus propagandistas, tal vez en algún aspecto, un poco excesivamente. El contacto con los especialistas le ha dado, a la fuerza, dado su extraordinario talento, un conocimiento de las materias a que se ha dedicado esporádicamente, bastante superior al de un mero aficionado. El propugna la libre discusión, pero no acepta fácilmente la contradicción a sus propias aseveraciones y éste es el punto más débil de su actuación científica. Han de pasar muchos años, antes de que se pueda apreciar el valor de su labor, tanto en conjunto como en puntos particulares.

Dejando al hombre y yendo a la cosa, hay un punto en la Cibernética que tiene un valor innegable: el punto de vista de que, en matemáticas, y en todas sus aplicaciones, para considerar un problema definitivamente resuelto, no basta establecer principios de existencia, sino que *hay que disponer de medios de computación* (primero limitada, si se quiere, pero tendiendo a la indefinida), *para obtener las soluciones lo más exacta y rápidamente que sea posible.*

Este punto de vista no escapó a la vista de dos grandes genios del siglo XVII: *Pascal* y *Leibnitz*. Esa es la razón por la que en Francia se ha creado el *Instituto Blas Pascal* (I. B. P.) que, aunque no ha podido construir una ENIAC, en cambio ha contribuido mucho en los estudios teóricos de las máquinas de calcular electrónicas. Este ha sido el gran descubrimiento en esta línea y al que han tendido todos los demás esfuerzos: *reemplazar los mecanismos por acciones eléctricas no sometidas a la ley de la inercia*. La bibliografía sobre la materia es copiosísima y casi no hay revista de algún carácter científico, por pequeño que sea, que no haya traído varios artículos sobre la materia.

No es muy aventurado predecir para el futuro y no muy lejano, que el estudio de los aparatos de evaluar y las máquinas de computar, mecánicas y electrónicas, formará parte de cursos científicos y técnicos como ahora lo ocupan los aparatos de laboratorio y de medida. Si se llegara a resolver ecuaciones algébricas, diferenciales, en derivados parciales e integrales, con condiciones cualesquiera y por métodos rápidos, los avances de las Matemáticas puras y aplicadas serían enormes.

Hasta aquí la parte positiva y laudabilísima de la Cibernética; pero hay otros dos aspectos, uno más curioso que admirable o censurable, y otro enteramente absurdo. El primero es la comparación de las máquinas de calcular electrónicas con el funcionamiento de procesos, no sólo orgánicos, sino incluso anímicos; en los mismos artículos serios en que se trata de las máquinas de calcular como producto del ingenio humano, raro es no encontrar alusiones a estas semejanzas. La más corriente es la de regulación (Wiener la llama *feed-back*, palabra no fácil de traducir exactamente). Sin entrar en detalles técnicos (que Wiener ha ilustrado nada menos que mediante el empleo de integrales de funciones de variable compleja, véase el Cap. IV de su tratado), hay que reconocer que cuanto más complicado es un mecanismo, más se parece en sus operaciones a las de un ser viviente; y, si el mecanismo es electrónico, sus rápidos procesos (un millón de operaciones en un segundo) hacen más curiosas esas analogías; pero de ahí no se pasa. Se podrá hablar metafóricamente del *cerebro electrónico*; pero tomarlo en serio como si hubiese la menor probabilidad, en el actual estado del conocimiento que poseemos, de construir aparatos ni remotamente equivalentes a los organismos vivos, sobre todo intelectuales, es simplemente hablar para la galería y valerse de la ignorancia del público para impresionarle. Los más de los autores, que escriben sobre este tema, rechazan esta denominación; p. e., *Pierre de Latil* en *Sciences et avenir* (abril 1951), escribe: «Las máquinas electrónicas son, de veras, instrumentos prodigiosos; pero no son más que esclavos del hombre», y más adelante: «lo que nos asombra en las máquinas de calcular modernas, no es la máquina, sino la electrónica». No he podido averiguar exactamente cuál es la opinión de Wiener; pero, casi *a priori* me atrevo a decir que tiene demasiado talento para creer que el *cerebro electrónico* es otra cosa que una metáfora.

El aspecto absurdo es el suponer que, en el estado actual de la ciencia, pueda existir un hombre que él solo domine todas sus ramas. Han existido inteligencias privilegiadas (muy pocas) que han asombrado por la amplitud y profundidad de sus conocimientos: Aristóteles, San Agustín, San Isidoro, San Alberto Magno, Pascal, Leibnitz, Napoleón Bonaparte, Poincaré, etc.; nosotros hemos

admirado la prodigiosa capacidad intelectual de Terradas. Pero a la mitad del siglo xx no hay inteligencia, por grande que sea, capaz de abarcar todos los conocimientos en todas las ramas; aún en una ciencia particular, no hay quien lo domine todo. Al inaugurar el V Congreso Matemático Internacional en Cambridge (1912), el Presidente del mismo, G. Darwin (hijo del célebre promotor del transformismo Ch. Darwin), matemático eminente y muy conocido por sus trabajos sobre figuras de equilibrio de masas flúidas en rotación, declaró que al leer los comunicados le produjeron la misma impresión que si estuviesen escritos en sánscrito (ni siquiera dijo en latín, griego o hebreo). Mucho más ocurre en otras ciencias, cuya unidad y conexión es muy inferior a las de la Matemática.

Es verdad que hay profesiones (la de periodista, por ejemplo) que exigen gran variedad de conocimientos, si quieren desempeñarse bien; pero los que las ejercen necesitan asesoramiento de especialistas, si no quieren exponerse a grandes y patentes errores. Y aunque cierta elasticidad de inteligencia, en muchas ocasiones, es útil a los mismos especialistas en una rama de cada una de las ciencias, es imposible el enciclopedismo absoluto.

* * *

Para dar término a esta ya demasiado larga disertación, quiero volver al principio de ella; como dije, conocí muy poco a Cabrera, pero me he alegrado mucho de haber tenido esta ocasión de evocar su memoria como físico y como Presidente de esta Academia; pero también quiero recordar a otros dos, que fueron íntimos amigos míos y que, como Cabrera, han pasado a mejor vida, en una edad inferior a la actual mía; me refiero a José M.^a Plans y a Esteban Terradas, que, aunque pertenecieron a la Sección de Exactas, eran también físicos y académicos eminentes. Su recuerdo es para mí a la vez triste y consolador; cuando pienso en ellos, recuerdo un viejo canto, muy popular en América, que aprendí de labios de mi madre:

Where are the friends of my youth?
 Say, where are those cherished ones gone?
 Why have they dropped like the leaf?
 Why have they left me to mourn?

¿Dónde están los amigos de mi juventud?
¿A dónde se han ido esos mis muy queridos?
¿Por qué han caído como las hojas?
¿Por qué me han dejado solo para llorarlos?

A estas preguntas de dolor, me responde el recuerdo de los tres: *Los jóvenes de ahora serán los sabios de mañana*, porque si alguna aspiración y satisfacción recuerdo de ellos, es el contento que les producía el pensar que los que entonces eran sus discípulos, no sólo habían de ser sus sucesores, sino que, por la ley inevitable del progreso científico, con el tiempo habrían de superarles.

Yo, que soy científicamente muy inferior a los tres, pero que he participado en mi juventud de sus mismos ideales, confieso que, ahora que me siento cansado y viejo, pero que veo la nueva generación de matemáticos y físicos en todo el mundo, pero especialmente en mi patria, en nuestra querida España, emprender animosos el camino del trabajo y de la gloria, recordando la frase de Cervantes en el prólogo de la segunda parte del Quijote: «Las heridas que el soldado muestra en el rostro y en los pechos, estrellas son que guían a los demás al cielo de la honra», digo a los jóvenes: *Levantad vuestros corazones; tomad con vuestras manos la bandera que nosotros tremolamos en nuestra juventud. Sean los que sean los trabajos y hasta desengaños que os esperan: VIVA ESPAÑA, ARRIBA ESPAÑA, SIEMPRE ARRIBA.*

מונה מספר לנכבדים לכלם שמות יקרא: