

REAL ACADEMIA DE CIENCIAS  
EXACTAS, FISICAS Y NATURALES

---

# ¿QUE ES LA MATERIA?

(Dudas y conjeturas de un físico)

DISCURSO DE RECEPCION

DEL

EXCMO. SR. D. ANTONIO COLINO LOPEZ

Y

CONTESTACION

DEL

EXCMO. SR. D. JOSE ANTONIO DE ARTIGAS Y SANZ

EL DIA 3 DE JUNIO DE 1959



MADRID

DOMICILIO DE LA ACADEMIA: VALVERDE, 22

TELEFONO 21 25 29

1959

CERRADO - 10 HORAS DIARIAS - 10 HORAS DE SERVICIO - A. B. LAURENCE G. G. G.

REAL ACADEMIA DE CIENCIAS  
EXACTAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

# QUEBES LA MATERIA

Discurso y recepción de un libro

DISCURSO DE RECEPCIÓN

EXCMO. SR. D. ANTONIO GILIO LÓPEZ

CONTESTACIÓN

EXCMO. SR. D. JOSÉ ANTONIO DE BARTOLIS Y SAIN

en mérito de la ley de 1901



Depósito legal: M. 7.062-1959

NUEVAS GRÁFICAS, S. A.—Andrés Mellá 10, 18.—Teléf. 24 01 20.—MADRID

Excmo. Sr. D. ANTONIO COLINO LOPEZ

---

DISCURSO DE INGRESO EN LA ACADEMIA  
DE CIENCIAS EXACTAS, FISICAS Y NATURALES

TEMA:

¿QUE ES LA MATERIA?

(Dudas y conjeturas de un físico)

EXCMOS. SEÑORES ACADÉMICOS :

SEÑORAS Y SEÑORES :

En estos momentos de emoción es difícil para mí, hombre de acción por oficio y parco de palabras por temperamento, expresaros de un modo adecuado la enorme gratitud que os debo por el alto honor que me habéis concedido con vuestra elección, el que considero tan desproporcionado a mis escasos méritos, que algunas veces, al recordarlo, he pensado que eran falsas ilusiones con las que el diablo tentaba mi vanidad.

No puedo ni debo ocultar la gran satisfacción que siento por llegar aquí en el día de hoy. Creo que al estar a vuestro lado, participando en vuestras tareas, aumentará mi admiración y respeto y vuestro ejemplo será para mí constante enseñanza y estímulo, con lo que lograré paliar al menos la falta de méritos que hoy tanto conturba mi ánimo.

No sería sincero si no confesara un motivo muy íntimo de mi gran satisfacción y causa de mi mayor agradecimiento. En mi juventud cometí la grave falta de la apostasía científica; cuando mis aficiones y lecturas, las mismas travesuras infantiles; la insaciable curiosidad por conocer la explicación de los fenómenos naturales, todo marcaba en mí indudablemente una vocación científica, sin embargo, y sin motivo aparente, me desvié de mi destino y cursé los estudios de Ingeniería. Pero siempre me ha perseguido la interna recriminación de haber abandonado mi verdadera vocación, y hoy, cuando me llamáis con vosotros, porque me llamáis como físico, me parece que, con vuestra benevolencia, me absolvéis de mi culpa y mi pecado queda borrado. ¡ Gracias otra vez por el enorme alivio que me habéis prestado con vuestra elección !

Aun en estos días de teorías indeterministas, no creo que sea mera

coincidencia que en estos momentos compartan conmigo la emoción de este solemne acto tres de mis profesores más queridos y pueda ofrecerles tan directamente el homenaje de mi admiración y gratitud. Don José Antonio de Artigas, don Pedro Puig y don José María Otero, han sido para mí verdaderos maestros en el sentido más excelso de la palabra, siempre he tenido su ayuda y consejo y hasta su amistad, y a ellos se debe que haya cuajado mi carrera científica.

\* \* \*

Un día de mayo, hace dos años, volvieron mis hijos del colegio impresionados, pues un padre había fallecido inesperada y repentinamente. Así fué cómo recibí la primera noticia de la muerte del P. De Rafael. Sobraría ahora el detalle de su biografía cuando muchos de vosotros gozasteis de la fortuna, que yo no tuve, de tratarle asiduamente y cuando todos recordamos aún las numerosas necrologías en las que se recogía su vida intensa y ejemplar.

Pero aunque estas razones sean atendibles, no me permiten eludir algo muy hondo para mí, y que queda grabado en mi propia conciencia: Vengo a sustituir a un hombre excepcional, que poseía en grado extremo las más excelsas cualidades: memoria e inteligencia, voluntad y tesón, integridad y comprensión, y todas estas gemas brillando engarzadas en una vida varia e intensa y, para completar tal perfección, con el marchamo de oro de ley de su profesión religiosa. Comprenderéis que si un minúsculo grano de vanidad quedase en mí por esto que tan generosamente me habéis otorgado, ya sería pura insensatez, ante el ejemplo de su vida y hasta de su propia muerte. Si la Providencia, en uno de sus inescrutables designios, me ha elegido, aceptaré complacido en la humilde pero necesaria condición de eslabón entre el pasado y el futuro.

## INTRODUCCION Y RESUMEN

Cuando, después de conocer vuestro honroso nombramiento, hube de pensar cuál sería el objeto de mi obligado discurso, inmediatamente me empezaron a surgir temas y, como es natural, más o menos relacionados con mis actividades profesionales y trabajos más o menos en curso. (Tales podrán ser, por ejemplo: teorías generalizadas de transformadas con su aplicación físico-matemática; la teoría de la información con sus secuelas de predicción y filtrado y su conexión con la termodinámica estadística; las teorías de los conductores, con sus desarrollos recientes de transistores y superconductores; los modernos métodos en la teoría de los campos electromagnéticos o ciertos aspectos técnicos de la energía nuclear, etc.). Pero si se tiene presente que soy un físico más por devoción que por profesión, que tengo una preferencia por las leyes generales más que por los detalles particulares, se comprenderá que cuando un diablillo tentador puso en marcha unas neuronas en mi cerebro, surgió con toda facilidad la reacción en cadena, y antes de que mi consciente pudiera percibirse y defenderse de la trastada que se le preparaba, mi inconsciente había escrito de una manera irremediable el título de este discurso:

### ¿QUÉ ES LA MATERIA?

Esta es la primera y última pregunta que un físico ha de hacerse. Su respuesta irá cambiando según el momento que se la formule; nosotros intentaremos responderla poniéndola una fecha: 1956 o, con más cautela, digamos 1955. Hemos tratado de dar una síntesis de los conocimientos adquiridos en los últimos treinta años, de formar una idea de lo que queda después de haber despojado a las teorías físico-matemáticas actuales de la matemática, en la esperanza de que al resto

le quede todavía algún significado. Lo que os ofrezco no es ni un tratado ni siquiera una guía bibliográfica; es lo que queda cuando el físico, fatigado de llenar el papel de fórmulas matemáticas, cierra los ojos para vislumbrar mejor, si le es posible, la realidad que le rodea. Las referencias bibliográficas tratan especialmente de fijar una fecha, diciendo «de aquí no hemos pasado», así como empleamos la primera persona del singular en las opiniones que, bien por ser propias, las menos, o bien por no estar debidamente contrastadas, las más, decimos al oyente o al lector como advirtiéndole: «No te quiero engañar; ten cautela; no te fies.»

Al seguir el desarrollo de la Física Moderna tememos dar muchas veces la sensación de vacilación e inseguridad; la ruta seguida por los pioneros teóricos en la fronda de los hechos experimentales ha sido siempre tortuosa y penosa, y únicamente después de las síntesis logradas aparece el camino real, rectilíneo y elegante.

Dos son los motivos por los que juzgamos conveniente anticipar un resumen de nuestro discurso: Uno, que componiéndose de diferentes partes con casi vida propia, independiente, el lector tenga un hilo de Ariadna trenzado con nuestras intenciones y le permita no extraviarse, y otro, que en caso de necesidad o gusto pueda ser leído parcialmente y, sin embargo, adquiera una idea de lo que cada parte significa en el conjunto.

En una primera parte de cinco capítulos tratamos de describir la aportación de las teorías cuánticas al conocimiento de la Materia. La esencia de cada capítulo es la siguiente:

I. El primer capítulo es una apología de la Mecánica Cuántica y en él se exaltan, como desquite de lo que pudiera venir detrás, los numerosos y preciosos resultados conseguidos desde la iniciación de la Mecánica Cuántica en los dominios del átomo, molécula, etc.

II. En el segundo capítulo se trata de explicar la trascendencia que ha tenido para la Microfísica los dos signos de una raíz cuadrada (1), es decir, la teoría de Dirac con su «Materia y Antimateria».

III. En el tercer capítulo, dedicado a la Electrodinámica Cuántica, se relata la lucha y el esfuerzo sostenido durante veinte años

---

(1) Otro caso en que también han tenido gran trascendencia los dos signos de la raíz cuadrada fueron las ondas espaciales de Sommerfeld.

hasta conseguir que desaparezcan los disparates que la invalidaban como un teoría respetable y que han culminado en unos maravillosos resultados, y de los que se extrae la moraleja, que los físicos nunca deben olvidar, ni aun en sus especulaciones teóricas, que son los observables los que cuentan y que a ellos hay que atenerse, salvo peligro de descarriarse.

IV. El cuarto capítulo, dedicado a la Mesodinámica Quántica, pone de manifiesto que aunque ha tratado de ser desde su iniciación la contrafigura de la Electrodinámica Quántica, no ha logrado, desgraciadamente, sus extraordinarios resultados.

El interrogante final plantea si las dificultades actuales son meramente matemáticas (cuál es el desarrollo en serie más adecuado para ciertas funciones) o simplemente si el camino no está completamente errado.

V y VI. Los capítulos quinto y sexto describen la divertida o trágica situación de la Física Moderna ante la lluvia de nuevas partículas. Los fenomenólogos tratan de deducir reglas de carácter empírico que pongan cierto orden en la barahunda y desconcierto, y por eso le llamo al quinto «Metamorfosis de partículas». Los teóricos esencialistas (el sexto) tantean diferentes posibilidades para llegar a una teoría de partículas. Todos ya creemos que hay una sola Materia que se presenta con diferentes disfraces, que es como un poliedro con diferentes caras, y la que vemos en cada momento depende de las circunstancias.

Cuando se sigue con detenimiento el desarrollo de la Física en las materias que hemos citado se percibe un hecho notable y singular, que es la extraordinaria amalgama de la teoría con la experiencia: las teorías nacen cuando aún los hechos experimentales están calientes. Creo que la figura más representativa en este sentido ha sido sin discusión la de Fermi: en el mismo block intenta predecir por nuevos razonamientos la producción de mesones; calcula una integración numérica (para no perder tiempo en matematiquillas) y proyecta un carretón y lo construye con sus propias manos. Late en todo ello un angustioso pragmatismo: hay que lograr nuevos resultados por todos los medios.

Forma la segunda parte conceptual un solo capítulo: «La teoría del campo unificado», y enseñoreándole todo él está la figura de A. Einstein. ¡Qué contraste en su desarrollo con la parte anterior! Durante



cuarenta años trabajando continuamente sin un solo experimento y sin un solo resultado que anime o espolee. La ambición es grandiosa: reducir toda la materia, con todos los fenómenos que la acompañan, a una estructura del espacio-tiempo. Durante muchos años, más que respetar la teoría, se ha respetado la gran autoridad del propio Einstein; pero la falta de resultados, dificultades que han ido surgiendo, como la de que el movimiento de una partícula electrizada fuera independiente de su carga, han ido haciendo perder la fe de los físicos y algunos herejes, aunque todavía creyentes traten de mantenerla. Ha sido una gran esperanza de muchos y les es muy penoso tener que perderla.

La tercera parte está dedicada a las consecuencias de las teorías anteriores en el orden de la Filosofía Natural. La vieja disputa (1926) de la causalidad y del determinismo ha renacido con extraordinaria pujanza y con nuevos argumentos, y creemos interesante analizar su situación actual (cap. VIII), ya que las dos únicas fuentes de conocimiento teórico que poseemos, la Mecánica Cuántica y la Teoría del Campo Unificado, son por hoy irreconciliables y no hay puente que las una.

Después del somero examen de las diversas teorías parece oportuno investigar qué conocimiento real nos suministran, es decir, nos hemos de preguntar qué es la «Realidad Física». Pero, dado el éxito tan abrumador de la Mecánica Cuántica, cualquier consideración acerca de la Realidad física o material estará predominantemente matizada por sus interpretaciones de la Microfísica.

En la cuarta parte es muy de lamentar la escasez de los conocimientos del autor, pues el tema tratado es de extraordinario interés: «La interpretación física de la materia viva». Ahora lo que pudiéramos llamar su filosofía en relación con esta cuestión es muy sencilla: Mientras que tratar de crear seres vivos o que se lo parezcan con la técnica de las máquinas sólo produce resultados grotescos, construir máquinas con la técnica de los seres vivos conduce a resultados maravillosos.

## APOLOGIA DE LA MECANICA QUANTICA

En el verano de 1925, Heisenberg dejó unas cuartillas a Born por si consideraba interesante su publicación. En dicho trabajo se postulaba, recordando la teoría de la relatividad, que en ninguna teoría física se debían emplear conceptos o representaciones que no correspondiesen a hechos observables experimentalmente y, por otra parte, trataba de dar la receta de la multiplicación para dichos observables. A Born le obsesionó esa receta hasta que recordó que correspondía a las reglas de multiplicación de matrices y pronto descubrió la extraña fórmula,

$$qp - pq = i\hbar$$

fundamento de la Mecánica de Matrices.

La primera aplicación no trivial y realmente importante de la nueva teoría fué hecha por Pauli (1926) al cálculo de los niveles estacionarios del átomo de hidrógeno, coincidiendo sus resultados matemáticos con los perfectamente confirmados de Bohr.

Aunque era evidente que se había encontrado un buen filón, sin embargo era completamente ininteligible su significado físico. Pero, afortunadamente, Schrödinger, en la primavera de 1926, publica sus maravillosas «Memorias», en las que toman un aspecto formal y preciso las ideas de dualidad onda-corpúsculo de la tesis de Broglie, y aunque aparentemente los físicos poseen ahora dos teorías completamente diferentes, Schrödinger, en una de las más bellas memorias de la Física Matemática, pone de manifiesto la identidad esencial de ambas. Añadiendo a lo citado que Born, en el mismo 1926, identifica la onda de Schrödinger con ondas de probabilidad, queda cerrado el gran ciclo teórico esencial de la Mecánica Quántica. Y ahora, al recoger la gran cosecha, se abre el nuevo y extenso campo de la Microfísica.

Es curioso comparar el concepto de la Física antes y después del filo de estos dos años. Antes la Física estudiaba las propiedades de la materia, pero cuando se la trataba con el cuidado suficiente para que no hubiese cambio esencial o químico; después la tarea fundamental es justamente desentrañar la materia sometiéndola al trato más brutal posible.

A partir de este momento cualquier propiedad de la materia (1) ha de encontrar su explicación en un modelo formado por núcleos y electrones ligados por los campos electromagnéticos y todo ello sometido a la legalidad de la Mecánica Cuántica. Muchas veces la explicación cualitativa es inmediata y otras veces la cuantitativa es posible. Sólo como homenaje, recordaremos algunas de sus glorias: la constitución del átomo y el espectro del helio; la teoría de la valencia y la formación de las moléculas (la molécula de H es H<sub>2</sub> y no H<sub>3</sub>, y el hielo flota en el agua); la estructura de los cuerpos sólidos (el diamante es duro y raya y el grafito es blando y lubrica); el cobre es conductor y amarillo y el germanio puro aislante; el hierro es magnético y los semiconductores pueden ser rectificadores y transistores.

Y si hoy día la Mecánica Cuántica no puede presentar todavía más completa ejecutoria en el terreno que se extiende del átomo al macrocosmos (2), no es por deficiencia suya, sino porque la mayor parte de los físicos teóricos, considerándolo conquistado, lo han abandonado y, como nuevos cruzados, luchan y se estrellan contra la minúscula extensión del 10<sup>-13</sup> cm., el por hoy inescrutable misterio de la Física.

---

(1) Por lo menos hasta el advenimiento de la Física Nuclear.

(2) Todavía los superconductores son un desafío a los físicos teóricos, aunque recientemente la comparación de isótopos superconductores parezca que conduce a una pista.

## II

### MATERIA Y ANTIMATERIA

Dirac (1928) trata de refinar las ecuaciones de Schrödinger con referencia al electrón, especialmente cuando éste tiene grandes energías cinéticas. Tanto Heisenberg como Schrödinger han partido de hamiltonianos no relativistas con la fórmula clásica para la energía cinética ( $1/2 mv.^2$ ), y Dirac, como es natural, arranca de la fórmula de la relatividad para la energía de una partícula

$$E = c \sqrt{p^2 + m^2 c^2}$$

e inmediatamente la raíz cuadrada le enfrenta con dos problemas: uno de índole matemática y otro de índole física.

El problema matemático es descubrir qué significa la raíz cuadrada de un operador. No es un problema completamente nuevo en la Física Matemática: ya Heaviside tuvo que resolver el de dar significado a derivar o integrar media vez. En esta ocasión es necesario definir la raíz de un vector: el spinor, con lo cual lo que pudiéramos llamar transformación conforme de un espacio vectorial de cuatro dimensiones pasa a ser dos espacios spinoriales de dos dimensiones. El premio de resolver esta charada matemática es encontrar de un modo «natural» el spin del electrón y, sobre todo, su momento magnético.

Volvamos ahora al problema físico: Como la fórmula de la energía es una raíz cuadrada, matemáticamente son posibles energías positivas y negativas. Mientras que en Mecánica Racional esto no tiene trascendencia, cuando una partícula se va frenando pierde toda su energía cinética hasta quedar en reposo, en Mecánica Cuántica sí la tiene, porque puede pasar en un salto de una energía positiva a otra negativa emitiendo radiación y, por tanto, habría como un inmenso sumidero para los electrones y el mismo día de la Creación habría ocurrido un suicidio colectivo, desapareciendo los electrones del universo en un gi-

gantesco relámpago. Pero como el mismo hecho de que hablemos de ello es prueba fehaciente de que así no sucedió, Dirac salvó su teoría con la hipótesis de que ya el sumidero estaba lleno, atestado, no dejando ninguna vacante para los electrones de energía positiva, y añadiendo la extravagante hipótesis de que los infinitos electrones existentes en el sumidero no ejercen acción alguna, pues, por definición, ésta es la situación normal «del vacío físico». Supongamos que a fuerza de estas hipótesis se han salvado los escollos lógicos, pero ahora nos encontraremos con sus consecuencias físicas. Así, por ejemplo, un fotón de suficiente energía, como una piedra lanzada en el agua, puede producir una salpicadura en el sumidero, con lo que nos encontraremos que ha saltado un electrón con energía positiva, dejando una vacante o hueco, y si la «normalidad» era cuando estaba lleno de cargas negativas, la vacante será ahora equivalente a un carga positiva. Esta consecuencia fué muy agradable para Dirac, ya que interpretó que el «hueco» podría ser la otra partícula conocida: el protón. Pero esta satisfacción le duró poco, pues fué demostrado que las propiedades mecánicas equivalentes del «hueco» correspondían más bien a la masa de un electrón; en estas dudas y vacilaciones, Anderson, afortunadamente descubrió en los rayos cósmicos que un fotón podía producir un par de electrones, uno negativo (el conocido) y otro positivo (el nuevo), quedando así brillantemente confirmada esta consecuencia de la teoría de Dirac.

Otra consecuencia, la que creo que todavía no ha tenido confirmación empírica completa (1), es la debida a la modificación que introduce el desplazamiento de los electrones existentes en «el vacío físico» en la distribución de los campos eléctricos producidos por cargas libres, por ejemplo, un protón, y en cuyas proximidades, por consiguiente, no será válida la ley de Coulomb. Este efecto se conoce con el nombre de «polarización dieléctrica del vacío».

Ciertamente no hay ninguna razón para limitar la teoría de Dirac a los electrones, pues puede extenderse igualmente a cualquier otro tipo de partícula, como el protón, neutrón, etc., lo que nos hará esperar la aparición de las correspondientes antipartículas: antiprotón, antineutrón, etc. Esta esperanza no se ha visto defraudada en cuanto después de veinte años, en el otoño pasado, se ha identificado el anti-

---

(1) L. L. FOLDY: *Phys. Rev.*, t. 95, 1954, pág. 1084.

protón, aunque con la pequeña sorpresa de que su tamaño es doble del esperado (2). Y todavía más recientemente se ha descubierto el antineutrón.

Se me olvidaba decir que así como el momento magnético predicho por Dirac para el electrón concordaba pasmosamente bien con el experimental, no sucedió así con los del protón y del neutrón ; pero esto es otra historia (3).

---

(2) *Phys. Rev.*, t. 102, 1956, pág. 1637.

(3) En el capítulo de Mesodinámica Cuántica se trata de ello.

### III

## ELECTRODINAMICA QUANTICA

Los físicos han tenido durante muchos años una gran deuda con la luz. En el año 1905, Einstein enunció su teoría del efecto fotoeléctrico, resucitando en parte las viejas ideas de Newton de que los rayos luminosos eran trayectorias de partículas de luz. Compton puso de manifiesto experimentalmente que los choques de fotones y de electrones seguían las mismas leyes de la Mecánica que el choque de las bolas de billar. Entonces, las ecuaciones de Maxwell, las escritas por los dioses, ¿qué significaban? Para Einstein, el vector de Poynting significaba la distribución estadística del flujo de fotones, y por vez primera en la historia de la Física, llevando consigo una revolución conceptual, magnitudes que considerábamos objetivas pasaban a ser meras funciones estadísticas de magnitudes cuánticas.

Dirac, en 1927, cuantificó los campos electromagnéticos, y realmente la tarea fué sencilla. Cualquier estudiante de electromagnetismo o acústica conoce que una cavidad tiene ciertos modos propios de oscilación y resonancia dependientes de su geometría, y también conoce que el problema del cálculo de la oscilación o excitación de la cavidad queda reducido al estudio de las amplitudes de esos modos, siendo notable que sus leyes dinámicas sean las mismas que las de un oscilador y, por lo tanto, que la cuantificación sea inmediata. Con este aparato matemático Dirac resolvió diversos problemas de emisión y absorción de la luz.

La Electrodinámica Cuántica adquiere todo su aspecto formal e imponente con Heisenberg y Pauli en 1929. Realmente, cuantificar la energía electromagnética de una cavidad no tiene un gran valor físico, pues es equiparable a establecer un buen sistema de correos sin entradas ni entregas de cartas. El problema fundamental es más complejo: Es poder calcular cómo actúa la partícula A sobre la partícula B.

Dentro del concepto físico, la partícula A origina un campo C, y este campo C es el que actúa sobre la partícula B. Con las ecuaciones de Dirac y la teoría de la cuantificación del campo se pueden escribir las relaciones que ligan  $A \rightarrow C$  y  $C \rightarrow B$ , pero la ecuación resultante no es resoluble matemáticamente, aunque se conozcan las soluciones parciales si no existiesen los acoplos de  $A \rightarrow C$  y  $C \rightarrow B$  (es decir, si A y B no tuviesen cargas eléctricas). Con el fin de obtener valores numéricos, aunque sólo sean aproximados, se recurre al socorrido método matemático del desarrollo en serie. Realmente, para que tuviese validez el método en cualquiera de las soluciones se habría de investigar si las series eran o no convergentes. Pero cuando en cada caso particular se calculan los términos de las series, se presenta la sorpresa que, salvo el primero en algún caso, todos los términos son infinitos. En verdad, no merecía la pena recorrer tan largo y difícil camino para llegar a resultados tan disparatados; sin embargo, la Electrodinámica Cuántica ha seguido perdurando durante cerca de veinte años en esta lamentable situación, tan difícil como inútil, por las razones siguientes:

1.<sup>a</sup> Cuando se obtenía un primer término finito, éste daba muy buena concordancia con la experiencia.

2.<sup>a</sup> Y teniendo una parte de verdad y no habiendo otra teoría que la sustituyese, era necesario agarrarse a ella como náufrago en apuro, manteniendo así una esperanza y dando una posible interpretación de los hechos experimentales.

Afortunadamente, Kramers, en 1947, tuvo un atisbo de lo que podía ser el fallo de la teoría y cuál podría ser el correcto planteamiento de la misma. Podemos entender con facilidad cuáles fueron las ideas de Kramers si recurrimos a la siguiente semejanza: Imaginemos un molinete que gira en el agua y que tiene aletas de quita y pon; sin aletas, tendrá una cierta inercia y un cierto frotamiento; con aletas, aumentará, por agitación del líquido, su inercia y su frotamiento. Del mismo modo se puede llamar electrón (sin aletas) al que tenga la masa y la carga eléctrica correspondiente, pero sin tener en cuenta los campos electromagnéticos que produce, y habrá un electrón experimental (con aletas) en que la masa y la carga eléctrica vendrán corregidas por la reacción de los efectos electromagnéticos. Antes de las ideas de Kramers se consideraba que existía un electrón desnudo que sufría correcciones para pasar a ser el experimental, pero a partir de dichas



ideas se considera que el único electrón real es el experimental y que el electrón desnudo y sus correcciones no son más que artificios matemáticos de una teoría física incompleta y no muy bien entendida. Así, para calcular el nivel energético de un electrón en un campo exterior electromagnético, se calcula la energía total debida a los efectos del campo exterior y al propio y se resta el efecto del propio, teniendo en cuenta que, aunque se busca una cantidad finita, sin embargo, se están manejando cantidades que tienden a límites infinitos, y hay un gran peligro de caer en ambigüedades matemáticas que sólo pueden salvarse por el sentido físico de los cálculos.

La renormalización de la Electrodinámica Cuántica, es decir, la extirpación sistemática de los tumores producidos por las correcciones de masa y carga fué llevada a cabo por la delicada intervención quirúrgica y relativista de Tománoga y Schwinger, ayudados por Dyson y Feynman. Es extraordinario que después de esta intervención los desarrollos en serie de cualquier observable se compongan de términos finitos y los valores numéricos obtenidos concuerden de un modo asombroso con la experiencia. Los dos fenómenos en que ha sido posible medir y calcular con alta precisión son, es curioso, correcciones de la teoría de Dirac: Uno es el efecto de Lamb entre dos niveles estacionarios del H ( $2S_{1/2}$  y  $2P_{1/2}$ ), que la experiencia y teoría conducen a un valor de 1.057,2 Mc. dentro de una aproximación de 0,6 Mc., con lo cual se ha llegado a una precisión de la fijación de los niveles del H de 1 en  $10^9$  (1). Otro fenómeno es el momento magnético anómalo del electrón, que dentro de la teoría de Dirac tenía que ser un magnetón de Bohr y según los nuevos cálculos es:

$$1.001145$$

en contraste de la experiencia más delicada, que da el valor:

$$1.001145 \pm 0.000013$$

Aunque la teoría de la renormalización haya producido, como es natural, un gran optimismo en los físicos teóricos, sensato será examinar sus puntos débiles. Con el fin de concretar ideas, definamos lo que podríamos llamar la teoría perfecta desde el punto de vista matemático. En una teoría perfecta: 1) Los tumores de las correcciones de

(1) Medidas de tan alta precisión han sido posibles empleando la técnica de las microondas.

masa y carga debieran ser finitos, y 2) Cualquier observable debiera tener un valor finito. Respecto al primer punto, Kallen ha demostrado, por reducción al absurdo, que las dos magnitudes correctoras no pueden ser finitas a la vez; Walton (2) cree poder demostrar que, mientras la corrección de masa es finita, la de la carga no lo es. Esto quiere decir que, por hoy, la Electrodinámica Cuántica ha de renunciar a conocer la estructura del electrón. En segundo lugar, hasta ahora han fallado todos los intentos para demostrar que las series obtenidas son convergentes o semiconvergentes: frente a cualquier argumento a favor ha aparecido inmediatamente el contraargumento. Desde el punto de vista práctico del cálculo numérico, que las series sean semiconvergentes no es ninguna desventaja, sobre todo después de haberse comprobado que los términos calculados disminuyen muy rápidamente.

Tampoco desde el punto de vista físico la última teoría es perfecta: 1) Hemos aprendido, sobre todo en los últimos años, que todas las partículas, incluido el fotón, tienen una alarmante tendencia a la metamorfosis, y, por consiguiente, no puede haber una teoría completa que tan sólo se componga de dos ingredientes, electrón y fotón; 2) Y como consecuencia de lo anterior, la Electrodinámica se tiene que quebrar en cuanto por las partículas que intervengan, sean reales o virtuales, en el juego entre los electrones y los fotones las otras partículas se llamen a parte. ¿Cuáles? ¿Mesones, gravitones? No quisiera que la especulación me arrastrase, pero creo que hasta ahora el gravitón ha estado demasiado descuidado, pues no olvidemos que un intenso campo electromagnético puede originar un campo gravitatorio. Que las series sean semiconvergentes podría físicamente interpretarse como debido a que en los términos de orden elevado correspondientes a las altas energías falta la compensación de las otras partículas, que irán acusando su presencia.

En conclusión: Los físicos han sido suficientemente afortunados para que las paletas del rodete electrón sean reducidas y no produzcan modificaciones fundamentales en su comportamiento, lo que se refleja en que el parámetro del desarrollo en serie  $\alpha = e^2/mc$ . (la constante de la estructura fina) sea muy pequeño respecto a la unidad (1/137), porque si  $\alpha$  no fuese muy pequeño, la historia sería otra y se asemejaría mucho en sus resultados, o mejor dicho en sus fallos, a la que ahora vamos a iniciar.

(2) *Phys. Rev.*, t. 98, 1955, pág. 1175.

*Observación.*—Siempre he tenido la duda de si tiene físicamente sentido suponer una carga eléctrica puntual, ya que los electrones de Dirac agazapados en el «vacío físico», dada la enorme intensidad de los campos eléctricos en juego, la neutralizarían completamente. Esto conduciría a la situación paradójica de que, mientras las divergencias siempre se han atribuido al supuesto de la carga puntual, ésta, sin embargo, no produciría ningún efecto.

En la literatura rusa muy reciente hay estudios muy profundos acerca de estas cuestiones.

## IV

### MESODINAMICA QUANTICA

Ya hemos dicho que durante la década 1920-1930 la idea que prevalecía sobre la constitución del núcleo es que estaba formado por protones y electrones, ya que, en principio, éstas eran las dos únicas partículas conocidas, y, además, la radiación  $\beta$  podía considerarse como una confirmación de tal suposición.

Pero aparte de las dificultades teóricas que esto podía tener (1), el descubrimiento por Chadwick en 1931 del neutrón llevó a Heisenberg (1932) a proponer que los núcleos debían considerarse formados por neutrones y protones con el nombre genérico de nucleones. Desde un principio se vió experimentalmente que las fuerzas que ligan entre sí los nucleones en un núcleo tenían que ser extremadamente intensas, pero de corto alcance y, por consiguiente, de una naturaleza desconocida. Eléctricas no podían ser, pues al contrario, en lugar de ser atractivas, serían repulsivas entre los protones e inexistentes entre los neutrones; gravitatorias, tampoco, porque su intensidad sería millones de veces menor que la necesaria, y, por consiguiente, era preciso inventar un nuevo tipo de campo de fuerzas.

El primer intento, genial y atrevido, se debió a Fermi. Tomando como patrón el campo electromagnético, supuso la existencia de un campo de fuerzas nucleares, el cual radiaba, en lugar de fotones, electrones y neutrinos, con lo cual, a la vez que intentaba explicar las fuerzas nucleares, lo completaba con una teoría de la radiación  $\beta$ . Pero casa con dos puertas, mala es de guardar, dice el adagio; y, en efecto, mientras que constituía una teoría bastante satisfactoria para la radiación  $\beta$ , era insuficiente, pues daba fuerzas poco intensas entre los nucleones. A parte del éxito que podía constituir la teoría de Fermi para la explicación de la radiación  $\beta$ , una teoría tan audaz había originado

---

(1) Blatt and Weiskopf Theoretical Nuclear Physics.

nuevos conceptos y nuevos métodos de extraordinario valor y que constituyeron el fundamento de las teorías posteriores.

Poco tiempo después (1935), Yukawa, buscando una acción entre los nucleones de gran intensidad y corto alcance, encontró su célebre fórmula :

$$V = C \frac{e^{-kr}}{r}$$

la cual resultaba de una ecuación de ondas que, según la Mecánica Ondulatoria, correspondía a una partícula de masa  $m = \hbar k / c$  ligada con el término exponencial, es decir, con el alcance. Esto suponía, en otros términos, que Yukawa, al postular su potencial, tenía que admitir la existencia de una partícula completamente desconocida en el mundo físico.

La existencia del «electrón japonés» fué acogido con cierto escepticismo por los físicos, pues no podían admitir que el señor Yukawa compitiera con el Creador en la creación de partículas ; pero el descubrimiento en los rayos cósmicos de una nueva partícula que se correspondía por su masa con la conjeturada por Yukawa dió un gran impulso a su teoría y que los físicos teóricos pusieran en ella todas sus esperanzas de resolver el enigma de las fuerzas nucleares.

Lanzados por este camino, era oportuno examinar qué tipos de campos nucleares podían ser satisfactorios para la Naturaleza. Es creencia entre los físicos que la Naturaleza tiene una cierta debilidad por las ecuaciones de Maxwell y que cualquier teoría, cuanto más reproduzca sus rasgos esenciales, más cerca estará de ser cierta. Estas características fundamentales podrían ser : 1.<sup>a</sup> Son ecuaciones lineales, lo que es una verdadera delicia para el matemático. 2.<sup>a</sup> Son relativistas. 3.<sup>a</sup> Tienen una estructura sencilla : Un operador lineal actuando sobre una magnitud A produce otra B, y otro operador lineal actuando sobre la B reproduce la A.

Cumpliendo estas tres condiciones, es fácil ver que se obtienen 12 tipos de campos mesónicos (por no decir 13, con el gravitón) : pueden ser neutros, cargados y simétricos en cada tipo ; escalar, pseudoescalar, vectorial y pseudovectorial. Y la única manera de conocer cuál es el preferido por la Naturaleza es desarrollar las teorías hasta llevarlas a sus consecuencias experimentales.

Desde un principio se encontraron grandes dificultades matemáti-

cas y físicas similares a las encontradas en la Electrodinámica, aunque agravadas por ser las divergencias de orden superior. Parecían como teorías más favorecidas la pseudo escalar y la vectorial simétricas (un éxito de la pseudoescalar fué el predecir el cuadripolo del deuterio con el signo correcto), aunque nunca llegaron a ser teorías cuantitativas, es decir, que diesen resultados numéricos de acuerdo con la experiencia. Y aun se intentó mezclarlas, pero sin éxito.

En el año 1947 hubo un momento de gran perplejidad en la Física : Desde que Anderson descubrió en los rayos cósmicos el mesón, nadie había dudado que esta partícula era el mesón de Yukawa, al que se le confiaba ejercer las intensas fuerzas nucleares y que, por consiguiente, debía poseer una extraordinaria afinidad con los nucleones ; sin embargo, se vió experimentalmente que el dicho mesón se comportaba extrañamente, como hijo desnaturalizado que no reconoce a sus padres, pasando muy cerca de los núcleos sin afectarse en nada. Es decir, que aquello en que se había confiado para obtener la afinidad entre los nucleones se mostraba completamente indiferente a ellos. Afortunadamente, fué posible salir pronto de esta perplejidad, pues unos meses después se descubrió que, durante más de diez años, había habido una falsa identificación, pues se había tomado el mesón  $\mu$  (el primero descubierto) por el mesón  $\pi$  (ahora descubierto), que era realmente el de la teoría de Yukawa.

Simultáneamente, la puesta en funcionamiento de los aceleradores de partículas ha permitido que los estudios experimentales sobre los mesones hayan progresado extraordinariamente y que ya haya sido posible empezar a contrastar las propiedades teóricas con los resultados experimentales y así, poco a poco, ir identificando cuál es la teoría más adecuada para explicar la Naturaleza.

Hoy está ya perfectamente determinado que el mesón  $\pi$  es pseudoescalar, de spin cero, y que la teoría más adecuada es la simétrica con mesones positivos, negativos y neutros.

Cuando se anunciaron los grandes éxitos de la teoría de la renormalización en Electrodinámica Cuántica, nacieron grandes esperanzas de que esta misma teoría se podría aplicar a la cuestión del mesón, y entonces, al examinar las 12 teorías posibles, se comprobó que tan sólo eran renormalizables las del mesón escalar y pseudoescalar, es decir, que la que parecía que confirmaba los resultados experimenta-

les (pseudoescalar) era la que también podía ser elaborada por el matemático (¿mera coincidencia o algo que no percibimos?).

Con grandes esperanzas se emprendieron los estudios de la renormalización de la teoría del mesón pseudoescalar, pero, desgraciadamente, los resultados han sido más bien desilusionantes.

Realmente, en el año 1952 había una crisis de desesperación entre los físicos teóricos al comprobar que la teoría de los campos no proporcionaba ninguna explicación de los hechos experimentales. Únicamente en la primavera de 1952 Leví descubrió que las teorías del campo del mesón podían dar lugar no sólo a atracciones, sino, además, a repulsiones a distancias muy pequeñas del nucleón, y, por lo tanto, podía ser una primera explicación de la formación de los núcleos. Los cálculos son muy complicados, los términos de las series resultantes son finitos, que es a lo que conduce la renormalización, pero las series, dado que el parámetro del desarrollo es mucho mayor que la unidad, parece que son, desde un principio, divergentes. Por lo tanto, los resultados son más bien cualitativos que cuantitativos. Será necesario mucho trabajo analítico antes de poder afirmar si las teorías mesónicas carecen de sentido físico o si meramente son dificultades matemáticas (1), por no emplear los métodos adecuados.

En la semejanza que introdujimos entre un rodete giratorio y en el agua y un electrón, en el campo electromagnético, correspondería ahora un rodete en plomo fundido y el nucleón en su campo mesónico. Mientras que las características del electrón desnudo sólo sufren pequeñas correcciones, en el nucleón, más que una corrección, es un cambio de características. Comparemos, por ejemplo, los momentos magnéticos de un electrón, un protón y un neutrón desnudos (teoría de Dirac) con los resultados experimentados.

	$e$	$p$	$n$
Dirac .....	= 1	= 1	= 0
Experimentales .....	= 1,0011	= 2.79	= - 1.91

Los momentos magnéticos anómalos de los nucleones tienen una explicación sencilla dentro de la mesodinámica, pero su cálculo numérico hasta ahora no ha sido muy satisfactorio (2).

(1) Véase EDWARDS: *Phys. Rev.*

(2) CASE: *Phys. Rev.*, t. 76, 1948, pág. 1.

Recientemente (1) se ha conseguido un gran avance teórico como resultado de los esfuerzos de Chew (1954) de conseguir una teoría simplificada no relativista, en la cual ha incorporado diferentes características procedentes de otras teorías: Así, además de renormalizar de un modo adecuado (no relativista), aplica, sin embargo, una frecuencia de corte, característica de las antiguas teorías que dan dimensión al nucleón (2). Quizá por primera vez se han conseguido unos resultados concordantes con los experimentales tratando simultáneamente diversos fenómenos (es decir, sin variar las constantes en cada caso particular), como son: 1) Dispersión del pión-nucleón; 2) Producción fotoeléctrica de piones; 3) Dispersión nucleón-nucleón; 4) Momentos magnéticos de los nucleones.

- 
- (1) CHEW: *Phys. Rev.*, t. 95, 1954, pág. 1669.  
WICK: *Rev. Mod. Phys.*, t. 27, 1955, pág. 1955.

(2) PAULI: «Meson Theory of Nuclear Forces».



## V

### LA METAMORFOSIS DE PARTICULAS

#### (LA QUÍMICA DE LAS PARTÍCULAS)

Hace sonreír pensar en el escepticismo de los físicos cuando Yukawa necesitaba una partícula para su teoría de las fuerzas nucleares, pues diez o doce años más tarde la Naturaleza les obsequiaba generosamente con un chaparrón de ellas.

Hoy la Física cuenta, por lo menos, 4 hiperones y 6 mesones pesados, aparte de los que ya le son habituales, como son el electrón, protón, neutrón, pión, muón y neutrino y cada fermión acompañado, como es natural, de su antipartícula (unas 31 partículas).

Como es natural, la primera tarea de los físicos es poner un poco de orden en esta barahunda. En principio se podría formar un espectro de masas (algo como la tabla de Mendeleef) y tratar de vislumbrar si hay una ley sencilla que les ligue. Por ejemplo, esta tabla de masas y números mágicos ha sido publicada (1),

Partícula .....	e	μ	π	ζ	ν	τ	χ	N	γ
Masa .....	1	210	276	550	800	977	1470	1836	2200
Masa/137 .....									
Número semi- entero más próximo...		1,5	2	4	6	7	10,5 11	13,5	16 16,5

la cual es muy sugestiva, sobre todo si se tiene en cuenta el toque de que medio entero suponga ser un fermión.

Que hubiese muchas partículas ya le sería sorprendente al físico, pero cuando la metamorfosis de unas en otras es lo normal, esta situación le produce una verdadera inquietud y tiene la grave sospecha que lo que él llama partículas no son más que diferentes aspectos de

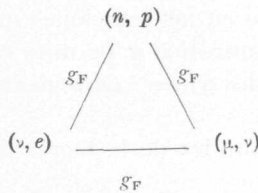
(1) *Phys. Rev.*, t. 95, 1954, pág. 263.

«algo», y como las palabras consuelan, lo llamaremos Urmateria. Una partícula, por lo tanto, no es más que una estructura detallada de la Urmateria.

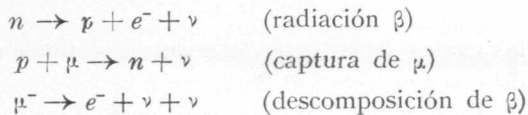
Podemos decir que hay una Química de partículas, en el mismo sentido que hubo anteriormente una Química de elementos. Una reacción química se expresa con una igualdad de dos miembros, pero una vez escrito el primero, no es arbitrario el segundo: la calidad y cantidad de cada elemento ha de ser la misma en los dos miembros. De igual modo, en cada reacción de partículas hay que conocer qué es lo que se conserva, qué es lo que, estando en el primer miembro, se transfiere al segundo.

Es evidente que la carga eléctrica en los dos miembros ha de ser la misma; también lo es a fuerza de experiencias que la carga métrica o número de partículas pesadas también lo ha de ser.

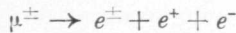
Desgraciadamente, las demás reglas ya no son tan sencillas. Examinemos, por ejemplo, el triángulo de Fermi,



con él se indican las reacciones comprobadas entre fermiones (1) (2)



y por qué no



o



(1) Con la misma constante de acoplo.

(2) Acaba de ser comprobada en los Alamos la existencia del neutrino mediante la reacción



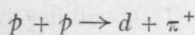
pues por la regla de Konopiński (1), que pide que en cualquier reacción entre fermiones se destruyan dos y se creen otros dos. Esto lleva a la consecuencia que la partícula normal sea el  $\mu^+$ .

Un criterio que ha tomado una importancia extraordinaria en los últimos años es el del spin-isotópico, o mejor, llamado isobárico o iso-spin. Si nos viéramos en la precisión de definir el iso-spin, diríamos que es la proyección sobre una dirección indeterminada de un vector imaginario en un espacio ficticio. Lo introdujo Heisenberg y es maravilloso que un concepto tan abstracto dé resultados tan concretos.

El spin-isobárico es tan precioso en la Física Nuclear porque es la mejor manera de expresar matemáticamente la ley de la independencia de la carga, es decir, que olvidando los efectos de la ley de Coulomb las fuerzas nucleares no dependen de si el nucleón es neutrón o protón.

Condon y Cassey lo introdujeron en 1936 con el fin de simplificar la teoría de la estructura nuclear y poner de manifiesto la analogía entre los niveles energéticos de los isobaros. También se ha confirmado por la experiencia que en las reacciones que intervienen los mesones es un buen número cuántico y permite calcular con facilidad las proporciones entre los diferentes componentes que en ella intervienen (2).

Buen ejemplo de la validez de la teoría del iso-spin son las reacciones:



las cuales deben tener la misma distribución angular y la producción debe ser en relación 2:1.

Pero ni aun esto es suficiente. Las nuevas partículas tienen tal comportamiento que para poder teóricamente sujetarlas (evitando su rápida transformación) ha sido necesario atribuirles dos spin-isobáricos simultáneos (3).

Goldhaber (4) ha enunciado una teoría química muy agradable por lo sencilla, y es suponer que la mayor parte de las partículas son

---

(1) *Phys. Rev.*, t. 92, 1953, pág. 1045.

(2) WATSON: *Phys. Rev.*, t. 83, 1951, pág. 1.

(3) GELL-MANN y PAIS.

(4) GOLDHABER: *Phys. Rev.*, t. 84, 1951, pág. 929.

compuestas, es decir, los nucleones pesados serían un núcleo normal y una partícula  $\theta$ , y los mesones pesados, un mesón más una  $\theta$ . Esta hipótesis tiene ciertas dificultades para explicar todas las metamorfosis, pero los fenómenos de formación de partículas a altas energías la avalan.

Toda la teoría fenomenológica de partículas, esta Química, es provisional y trata de entender e indicar, mediante diversos esquemas, cuáles pueden ser los puntos fundamentales de la teoría futura.

## VI

### TEORIA DE LAS PARTICULAS ELEMENTALES

El tema fundamental de la Física actual, el más delicado y urgente es la teoría de las partículas elementales. Primero fueron los átomos, después los núcleos, hoy las partículas.

Haremos una revisión sintética de la situación actual de la teoría y de los principales intentos para lograr su avance. Lo que hoy sabemos de un modo esencial de la materia se reduce a los siguientes puntos :

1) Los fermiones, partículas-partículas, se rigen por la ecuación de Dirac :

$$(\gamma_{\mu} \partial_{\mu} - m) \psi = 0$$

con sus principales conclusiones : que obedecen al principio de exclusión de Pauli y puede haber antipartículas.

El electrón se comporta maravillosamente bien respecto a esta ecuación, tiene el momento magnético correcto y existe el electrón positivo. Su hermano mayor, el  $\mu$ , no tiene ninguna mala nota en contra y hasta se ha demostrado que se puede producir por pares.

Tanto el protón como el nucleón se comportan adecuadamente, pero tienen la anomalía de los momentos magnéticos. Se ha demostrado que existe el antiprotón, y ya hemos dicho que se ha descubierto el antineutrón.

Lo que no ponen de manifiesto estas ecuaciones (¡ una para cada partícula ! ) es que hay las siguientes metamorfosis :

$$\mu \rightarrow \nu + e + \nu$$

$$n \rightarrow p + e + \nu$$

con sus correspondientes tiempos de vida.

La situación todavía es más grave si se considera que todos los

nuevos hiperones (nucleones pesados) también mueren de acuerdo con esquemas específicos.

2) Reina un grandioso optimismo sobre la situación actual del campo electromagnético. Los resultados recientes de la Electrodinámica Cuántica hacen honor a los de la Electrodinámica Clásica (la más pura de las físicas). Creo que se puede afirmar que no hay resultado experimental que la teoría no mejore.

3) Queda ahora el último campo: el de los mesones. Los resultados son defraudantes, y ya no se sabe si son meras dificultades matemáticas o que la teoría es falsa. La existencia de nuevos mesones pesados vienen a aumentar todavía la confusión.

Buscando la salida de la encerrona mesónica, los físicos se esfuerzan en buscar nuevas teorías, cuyos puntos esenciales trataremos de describir.

*La teoría de A. Pais* (1) ha tratado de incorporar las principales leyes empíricas de conservación e invariancia en las ecuaciones del nucleón y mesón, remendando las existentes. No es una teoría esencial, sino fenomenológica, y como tal, de corto alcance, pero de resultados inmediatos, útil para poder ordenar los resultados experimentales.

Las propiedades de las ecuaciones que obtiene son:

1.<sup>a</sup> Una familia de nucleones, incluidos los pesados.

2.<sup>a</sup> Una familia de mesones.

3.<sup>a</sup> Incluye la ley de la independencia de la carga.

4.<sup>a</sup> La carga nuclear es conservada.

Para conseguir introducir el iso-spin en sus ecuaciones, además del espacio-tiempo, utiliza una multiplicidad de tres dimensiones en cada punto. Es decir, cada nucleón, aparte de sus coordenadas espacio-tiempo, tiene parámetros internos pertenecientes al iso-spin. Las ecuaciones de Pais toman la forma:

$$[\gamma_\mu \partial_\mu - M(T)]\psi = 0 \quad (\text{nucleones})$$

$$[\square - M_0^2(T)]\varphi = 0 \quad (\text{mesones})$$

en las que  $M(T)$  son operadores del iso-spin.

*La teoría de reciprocidad de Born* (2). La teoría de Born es de un

(1) A. PAIS: *Physica*, XIX, pág. 869, 1953.

(2) MAX BORN: *Rev. Mod. Phys.*, pág. 463, 1949.

tipo más ambicioso, es decir, busca dar nuevos fundamentos a la Ciencia. Parte de que en todas las ecuaciones fundamentales de la Física, como son :

$$\dot{x}_k = \frac{\partial H}{\partial p_k}; \quad \dot{p}_k = - \frac{\partial H}{\partial x_k} \quad (\text{ecuaciones canónicas})$$

$$x^k p_l - p_l x^k = i h \delta_l^k \quad (\text{la regla de Born})$$

$$m_{kl} = x_k p_l - x_l p_k \quad (\text{momento angular})$$

admiten un principio de reciprocidad, pues son invariantes para la transformación :

$$x_k \rightarrow p_k; \quad p_k \rightarrow -x_k$$

y así como en la relatividad especial el intervalo

$$s^2 = x_k x^k = c^2 t^2 - r^2$$

es la magnitud esencial de la teoría y, sin embargo, la recíproca :

$$p_k p^k = E^2 - c^2 p^2 = m_0 c^2$$

es invariante, y en todas las ecuaciones de la Física la masa figura como un parámetro fijo *a priori*, en la nueva teoría juega un papel de variable, ya que vemos que la Naturaleza tiene su espectro de partículas, es decir, la masa será también una variable en la que actuará el correspondiente operador.

La teoría de Born se desarrolla en las dos siguientes etapas :

1.<sup>a</sup> En función de los operadores generales de ondas hay que definir las leyes de conservación, y éstas exigen, para ser tales, un espectro de masas (general).

2.<sup>a</sup> Se seleccionan los operadores de acuerdo con el principio de reciprocidad (particular).

La teoría así desarrollada conduce (quizá por primera vez) a :

- 1) Un espectro de mesones.
- 2) Un espectro de fermiones.
- 3) Una nueva Electrodinámica unitaria, es decir, en la que es imposible separar campos de cargas, con factores de forma que contribuyen a la convergencia.

He de confesar que desconozco si la teoría ha sido desarrollada con posterioridad y si ha llegado a pasar de la pizarra al laboratorio.

*Teorías de campos no locales.*—Yukawa, tratando de evitar las divergencias de las teorías del mesón, concibió la idea de los campos no locales (1). En tal teoría, el valor de cualquier magnitud descriptiva del campo depende de dos puntos que se consideren a la vez. Con el fin de concretar ideas tan generales, Yukawa ha usado el principio de reciprocidad de Born.

Quizá el resultado más útil conseguido es introducir en la descripción de las partículas grados de libertad internos de una manera relativista, con lo que se ha llegado a un intento de descripción unificada de las partículas elementales. Así, la ecuación de un nucleón toma la forma:

$$(\gamma_{\mu} \partial_{\mu} - M) \psi(x, u) = 0$$

siendo  $M$  un operador en  $u$  (variable interna). Los autovalores del operador dan el espectro de masas.

Una ventaja de la teoría de Yukawa es que las partículas tienen extensión y con ello se pueden evitar las divergencias de la interacción.

Dentro de las teorías no locales hay que distinguir dos grupos: Las que conservan la ley de la causalidad y las que no la conservan. En este caso nos referimos a la ley de la causalidad en el sentido relativista, es decir, en el que hay una velocidad límite de propagación de cualquier efecto. Al emplearse en teorías no locales leyes integrodiferenciales puede haber propagación de efectos a mayor velocidad que la de la luz. ¿Ocurrirán estas circunstancias en la misteriosa zona  $10^{-13}$  cm?

*La teoría de Heisenberg* (2).—La teoría de Heisenberg es, más que una teoría, un modelo de teoría. Desde luego, parece que abarca en sus aspectos cualitativos todas las características que han de reunir la teoría esencial. Entraña en sí las siguientes cualidades:

1.<sup>a</sup> Es tan unificada, que tan sólo se compone de una ecuación:

$$[\gamma_{\mu} \partial_{\mu} - e^2 (\psi^+ \psi)] \psi = 0$$

Como vemos, igual que todas las teorías anteriores, cambia la masa como parámetro fijo, *a priori*, en un operador preparando el espectro de masas.

(1) YUKAWA: *Phys. Rev.* t. 77, pág. 849, 1950.

(2) W. HEISENBERG: *Science*, dbre. 1955.



2.<sup>a</sup> No es lineal, con lo cual quedan introducidos automáticamente los campos de interacción (electromagnético y mesónico).

3.<sup>a</sup> Pasemos a la segunda cuantificación. Por no ser lineal, hay que modificar las reglas de conmutación, con la ventaja de que desaparecen las  $\delta(x)$  origen de las divergencias.

Resultados que ha obtenido hasta la fecha de la referencia (1):

- 1) Un espectro de fermiones.
- 2) Un espectro de bosones.
- 3) Una aparente acción electromagnética entre fermiones, achacable a la desaparición de la  $\delta(x)$  en las relaciones de conmutación. Puede ser un buen modelo para posteriores teorías.

*Ideas sobre una teoría de la materia.*—Una teoría unificada de la materia podría tener las siguientes características:

- 1.<sup>a</sup> Una ecuación de ondas no lineal:

$$F[U(x, u)] = 0$$

en que  $F$  es un operador;  $U$ , la función  $U_{\text{materia}}$ ;  $x$ , coordenadas espacio-tiempo;  $u$ , coordenadas internas.

2.<sup>a</sup> Una partícula ( $a$ ) es una función propia  $U_a$  del operador  $F$ .

3.<sup>a</sup> Dos partículas  $U_a$  y  $U_b$  en presencia se ejercen una acción mutua, por ser

$$U_{ab} \neq U_a + U_b$$

Cuando ( $a$ ) y ( $b$ ) están suficientemente distantes para resolver  $F$ , se puede emplear una teoría de perturbaciones; tal teoría linearizada constituye lo que llamamos:

Teoría de la gravitación de Newton.

Ecuaciones de Maxwell.

Ecuaciones de Dirac.

Ecuaciones de propagación del gravitón.

4.<sup>a</sup> Una segunda aproximación, disimulando las mutilaciones no lineales, es la teoría de la renormalización de Electrodinámica Cuántica.

5.<sup>a</sup> Cuando dos partículas están una encima de otra, se forma una partícula compuesta. Por ser acciones puramente no lineales, no

puede haber teoría de los campos, lo que explicaría los fracasos de la Mesodinámica.

6.<sup>a</sup> Según esto, un núcleo es una partícula, un hermano mayor del protón. El iso-spin es una característica de la vibración.

En un núcleo no hay nucleones; con esto es posible entender algunas teorías; otras, no.

7.<sup>a</sup> Está justificada una fenomenología de números cuánticos en Física Nuclear.

8.<sup>a</sup> Por no ser lineales las ecuaciones, las cargas positivas están favorecidas formando núcleos; no lo están las negativas.

9.<sup>a</sup> Es fácil de entender la formación de los núcleos compuestos y el modelo óptico, por ejemplo.

10. Es fácil de explicar la saturación de las fuerzas nucleares.

## VII

### LA TEORIA DEL CAMPO UNIFICADO DE EINSTEIN

La teoría del campo unificado de Einstein ha sido y sigue siendo una de las más bellas esperanzas de la Física Matemática y uno de los más brillantes ejemplos del temple heroico de los hombres que dedican su vida a la Ciencia.

Para llegar a captar toda su trascendencia será conveniente dar una cierta perspectiva histórica.

A finales del siglo pasado, Lorentz estudia la electrodinámica de los cuerpos eléctricos en movimiento; pongamos, como ejemplo, un electrón. Con el fin de simplificar la resolución matemática de las ecuaciones entre derivadas parciales, intenta diversos cambios de variables: uno, evidente, es que el sistema de referencia acompañe al electrón; pero, desgraciadamente, las ecuaciones transformadas son más complicadas que las iniciales. Por un golpe de ingenio, se le ocurre hacer otro cambio de variables, que después se hará famoso, mediante el cual las ecuaciones transformadas permanecen con la misma forma que las primitivas en las que se puede considerar el electrón en reposo, es decir, ha descubierto una transformación matemática que permite relacionar de un modo muy sencillo las soluciones estáticas con las dinámicas.

Para Lorentz, esto no es más que un mero artificio matemático; pero Einstein, que en aquellos tiempos está preocupado con la posibilidad de que haya una velocidad límite en el Universo y a la vez con los resultados de las experiencias de Michelson, considera que las transformaciones de Lorentz son algo más que un truco matemático, pues corresponden a la verdadera estructura de la realidad física. Minkowski pone de manifiesto que las transformaciones de Lorentz tienen una interpretación geométrica muy elegante en un espacio de cuatro dimensiones (tres espaciales y una temporal), pues expresan rotaciones

de los ejes de referencia. Según esto, el espacio absoluto de tres dimensiones y tiempo absoluto se integran en un Universo absoluto de cuatro dimensiones, en el cual cada observador tiene su perspectiva cinemática. Así, diferentes puntos en el espacio para un observador pueden ser el mismo para otro, diferentes momentos de uno pueden ser simultáneos para otro. Todo esto origina innumerables paradojas que exacerban los espíritus filosóficos de la época y que hacen a la teoría de la relatividad tan popular. En realidad, la teoría especial de la relatividad no es más que un desarrollo sistemático de las teorías de Maxwell y Lorentz.

La generalización de la teoría de la relatividad le cuesta a Einstein siete años (de 1908 a 1915) de muy duro trabajo. Los avances son lentos y vacilantes; en 1908 descubre el principio de la equivalencia: Las leyes del movimiento han de ser las mismas en un campo gravitatorio uniforme que en un espacio uniformemente acelerado. Es decir, cuando un tren arranca bruscamente el viajero se cae hacia atrás, lo que se puede interpretar porque el tren se ha puesto en marcha, o porque un nuevo campo de fuerzas le tira hacia atrás. Después descubre que el Universo físico puede tener una métrica de Reimann, pero todavía en 1912 le quedan dos muy difíciles cuestiones por resolver:

a) Qué relación hay entre la física de un campo gravitatorio y la métrica de Riemann; y

b) Cuáles son las leyes matemáticas que determinan la métrica.

Y es a finales de 1915 cuando, por fin, la teoría de la relatividad alcanza su forma final y va adquiriendo su tinte de evidencia con los años.

Así como hay una tremenda diferencia conceptual entre las teorías de gravitación de Newton y Einstein, sin embargo, hay muy poca diferencia en el terreno práctico, lo que se concreta en las llamadas «tres pruebas» (1).

Pero Einstein no da con este éxito por terminada su tarea y emprende inmediatamente otra, todavía más profunda y difícil si cabe,

---

(1) Las tres pruebas:

1) El giro de las órbitas planetarias elípticas.

2) La curvatura de los rayos luminosos por la acción de los campos gravitatorios.

3) El corrimiento hacia el rojo de las rayas espectrales por la acción de los campos gravitatorios muy intensos de las estrellas de gran magnitud.

la teoría del campo unificado, que le dura hasta la hora de su muerte (1955), y de la cual todavía desconocemos su éxito o su fracaso. Intermedio, resuelve un problema de gran belleza dentro de la Física Matemática y que puede tener trascendencia por lo que significa: nos referimos al movimiento de una partícula material en un campo gravitatorio.

Desde un principio se acepta, como generalización natural del movimiento en línea recta de una partícula material libre, que en un campo gravitatorio ha de seguir una geodésica. En realidad, si hemos de elegir una ley sencilla y a la vez invariante, no nos queda otra elección; sin embargo, desde el punto de vista de lógica crítica no es satisfactorio, pues en las leyes de la gravitación (en espacio y tiempo) están implícitamente determinadas las líneas del Universo de cada partícula. Y, efectivamente, años después (1) se demuestra que la línea del Universo en un campo gravitatorio de una partícula (mejor dicho, de una singularidad matemática) sigue la geodésica del campo gravitatorio. Con esto, se pone de manifiesto que las leyes de la gravitación son tan completas que no sólo determinan los campos gravitatorios que originan las partículas, sino a la vez el movimiento de las mismas. Compárese con la teoría de la gravitación de Newton y el electromagnetismo de Maxwell, que hay que mezclarlos con la Mecánica Racional para poder obtener las leyes del movimiento.

Algo que hay que tener muy presente es que este resultado de la teoría relativista de la gravitación es consecuencia de que sus ecuaciones no son lineales. Si consideramos dos partículas A y B simultáneamente, la solución que obtengamos para sus líneas del Universo no son la mera superposición de las dos soluciones independientes, sino que están deformadas, y esta deformación, producida por su presencia mutua, es lo que entendemos como acción gravitatoria de una sobre otra.

Pero volvamos a la gran tarea. Las leyes del campo gravitatorio en el vacío tienen la sencilla forma

$$R_{\mu\nu} = 0$$

en la que  $R_{\mu\nu}$  es el tensor de Einstein. Sin embargo, si en el espacio hay materia o energía en cualquiera de sus formas, esta ecuación hay

---

(1) Ver, por ejemplo: *Rev. Mod. Phys.*, 1949, pág. 408.

que completarla con un remiendo, tomado prestado de otras teorías fuera de la relatividad :

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = T_{\mu\nu}$$

en la que  $T_{\mu\nu}$  es el tensor representante de la impulsión-energía de la materia. La gran obsesión de Einstein ha sido hallar una estructura del espacio-tiempo que comprendiese unificados los campos gravitatorios y electromagnéticos a la vez.

Así como el «principio de equivalencia» fué la idea orientadora que condujo a introducir los campos gravitatorios en la teoría de la relatividad, para la nueva teoría unitaria tan sólo hay una muy débil pista que, asombrosamente, se compone de los siguientes indicios :

- 1.º El tensor de la métrica del campo gravitatorio es simétrico.
- 2.º El tensor representante de los campos electromagnéticos es antisimétrico,

lo que sugiere que si el tensor de la métrica fuera general podría tener una parte simétrica representante de los campos gravitatorios y otra parte antisimétrica representante de los campos electromagnéticos, olvidando, por facilidad de comprensión, las consecuencias de no ser las ecuaciones lineales.

Einstein, generalizando los métodos empleados en la teoría de la gravitación, el glorioso antecedente, llega a lo que él considera las leyes claves del Universo.

$$\begin{aligned} g_{ik;l} &= 0; & G^{\downarrow ik}{}_{,k} &= 0 \\ R_{kh} &= 0; & R_{(ik,l)} &= 0 \end{aligned}$$

El primer grupo de componentes simétricos son la nueva forma de los de la gravitación ; el segundo grupo de componentes antisimétricos son la nueva aportación de la teoría del campo unificado, con gran semejanza con las ecuaciones de Maxwell, que tratan de sustituir.

La dificultad de estas leyes meramente matemáticas es que son, en principio, incomprensibles, pues no se sabe cómo traducirlas al mundo de los fenómenos naturales. Por ser ecuaciones entre derivadas parciales y no lineales, la labor matemática encontrará dificultades extraordinarias y, por otra parte, los resultados que se puedan obte-

ner no serán fácilmente interpretables, ya que sería trivial pensar que habríamos de encontrarnos con una mera superposición de fenómenos gravitatorios y electromagnéticos, cuando por la naturaleza no lineal de las ecuaciones ambos fenómenos tendrán una interacción mutua (un efecto Blackett, por ejemplo). Por hoy, si las leyes son ciertas, falta la piedra Roseta que haga posible traducir el lenguaje matemático al lenguaje físico.

Pero sin haber hecho su traducción, y aun con lo poco que de ellas se entiende, ya empiezan a surgir dificultades. Recordemos, como éxito sin precedente, que la teoría de la gravitación era tan completa que aun las leyes de la dinámica eran parte esencial de su estructura. Cuando se ha tratado de obtener con el mismo método las leyes del movimiento dentro de la teoría del campo unificado, la sorpresa ha sido tremenda: El movimiento de una partícula en un campo electromagnético es independiente de la carga eléctrica de la partícula (1).

Otra no menos tremenda sorpresa es que valiéndose de las leyes de semejanza se haya podido poner de manifiesto que la ley de Coulomb de electrostática no se cumple dentro de las leyes clave de Einstein (2).

Las respuestas de Einstein a ambas dificultades tienen una parte común: la imposibilidad de trabajar matemáticamente con las adecuadas soluciones. En la obtención de las leyes dinámicas se ha operado con una singularidad matemática, y, realmente, dentro de la teoría del campo unificado no puede ser tal. La partícula será una particularidad, una concentración de energía. En cuanto a las leyes de Lorentz de electrodinámica, que era el resultado esperado, para Einstein no son leyes ciertas, sino tan sólo resultados estadísticos. En cuanto a que las leyes de semejanza no sean aplicables, es debido a que las soluciones serán sólo posibles para ciertos valores de las cargas eléctricas, es decir, que la aparente dificultad la convierte nada menos que en una cuantificación automática de las cargas eléctricas.

Como vemos, la teoría del campo unificado de Einstein se ha ido transformando en una teoría de todo o nada: o comprende todas las leyes del Universo referentes a la materia o es una mera tautología matemática sin valor físico alguno.

---

(1) Véase, por ejemplo: CALLAWAY: *Phys. Rev.*, t. 92, 1953, pág. 1567.

(2) Véase, por ejemplo: JOHNSON: *Phys. Rev.*, t. 89, 1954, pág. 320.

Van pasando los años, las dificultades aumentan, los avances son escasos, muchos físicos pierden la fe en el Genio y empiezan a aparecer las herejías. Las principales herejías se caracterizan porque las ecuaciones fundamentales en  $R_{\mu\nu}$  vuelven a tener un segundo miembro, un remiendo para las ideas puras de Einstein (1). Todas estas herejías son muy recientes y es prematuro el poder juzgarlas. Quizá su principal valor radique en ser pasos intermedios más manejables e inteligibles y que preparen así el advenimiento de la Gran Teoría.

La idea del campo unificado es una de las más atrevidas y bellas concepciones de la mente humana. Para Mach, el espacio y el tiempo estaban subordinados a la materia; para Einstein, en su teoría del campo unificado, la materia, con todas sus características (masa, carga eléctrica, etc.), está como embebida en la estructura métrica del espacio-tiempo.

La partícula surge como una particularidad en el campo, como un nudo en una cuerda, no como una singularidad matemática; las constantes que la definen como masa, carga eléctrica, spin, isotópico, etcétera, no son valores localizados, sino representación o parámetros definidores de estructuras extensas.

Es evidente que esto evita dificultades como las divergencias correctoras de la masa y de la carga y puede explicar las cualidades de las diferentes partículas como detalles estructurales.

Las leyes del movimiento son meras consecuencias del acomodamiento mutuo en el mismo espacio-tiempo de las diferentes particularidades. De la yuxtaposición de dos particularidades pueden surgir otras, ya que los fenómenos no son lineales (metamorfosis de partículas).

En una teoría del tipo de la del campo unificado habrá que introducir, *a priori*, ciertas constantes universales: la velocidad de la luz,  $c$ ; la dimensión límite,  $l_0$ ; la constante gravitatoria, la constante cosmológica, etc., en función de las cuales vendrán dadas las constantes secundarias  $e$ ,  $m$ , etc.; Será especular exageradamente pensar, por ejemplo, que estando ligada la constante cosmológica, por un lado, a las dimensiones del Universo finito, pero limitado, y por otra parte,

---

(1) KURSWNOGGE: *Phys. Rev.*, t. 88, pág. 1369.  
Id.: *Phys. Rev.*, t. 92, pág. 506.  
CALLAWAY: *Phys. Rev.*, t. 96, pág. 778.  
ANDERSON: *Phys. Rev.*, t. 99, pág. 1871.  
BONNOR: *Proc. Royal Soc.*, 1954, pág. 366.



a la masa del gravitón, pudiera ocurrir la síntesis de lo finitamente más grande del Universo ( $R = 10^{27}$  cm.) con lo finitamente más pequeño ( $r = 10^{-13}$  cm.), dando así explicación a las sospechosas relaciones en las dimensiones del todo universal  $R/r = 10^{40}$  y el número de partículas existentes =  $10^{80}$  (Eddington)?

Como complemento, menos abstracto a las ideas desarrolladas en este capítulo, expondremos una imagen de la teoría del campo unificado que hemos ido perfeccionando. Supongamos un gran bloque de vidrio isótropo y homogéneo; en él, un rayo de luz describiría una línea recta, como sería también la trayectoria de una partícula en un espacio completamente libre. Si el vidrio siguiese siendo isótropo, pero no homogéneo, un rayo de luz describiría una curva, así como una partícula tendría también una trayectoria curvilínea si el espacio ha perdido sus propiedades homogéneas por haber un campo gravitatorio. Consideremos ahora que el bloque de vidrio ni es isótropo ni homogéneo: el índice de refracción no sólo depende del punto que se considere, sino, además, de la polarización del rayo; hay como una especie de torsión en el espacio óptico; la trayectoria del rayo luminoso no sólo será curva, sino, además, dependerá de su polarización. Esta es la imagen más completa a que hemos podido llegar de la teoría del campo unificado, comprendiendo a la vez los gravitatorios y electromagnéticos; la partícula describirá una curva que dependerá de su carga.

Si en un punto del bloque hubiese unas enormes tensiones, entonces se originaría una línea de fisura: la línea del Universo de una partícula.

La estructura de ese filamento de rotura es lo que De Broglie intenta encontrar con su nueva teoría de la segunda solución (1).

---

(1) L. DE BROGLIE: *Il Nuovo Cimento*, enero 1955, pág. 37.

## VIII

### CAUSALIDAD Y DETERMINISMO

Desde hace cerca de treinta años hay una gran disputa entre los físicos teóricos: si la Microfísica es o no determinista.

Hace doscientos cincuenta años Newton nos legó, con su Mecánica Racional, las ideas del espacio absoluto, del tiempo absoluto y del determinismo.

El gran éxito de la Mecánica Racional, especialmente en Astronomía, fué convirtiendo estas creencias en principios metafísicos, y la fe en el determinismo fué tal, que llegó en un momento a arrogarse la prerrogativa de hacer suscribir a la divinidad sus dictados y a concebir el Universo como un puro mecanismo.

A principio de siglo, la Teoría de la Relatividad integró las ideas del espacio absoluto y del tiempo absoluto en un Universo de cuatro dimensiones, pero el principio metafísico del determinismo siguió manteniéndose con todas sus prerrogativas dentro de la Teoría de la Relatividad.

En la primavera del año 1926, Schrödinger, partiendo de las ideas de De Broglie sobre la dualidad de onda-corpúsculo de la materia, da una forma precisa a éstas con su ecuación de ondas, obteniendo los grandes éxitos del cálculo de los estados estacionarios del átomo de hidrógeno y del oscilador.

Queda, sin embargo, por interpretar qué significa físicamente la función de ondas que interviene en su ecuación. Born, poco tiempo después, y por semejanza con la idea de Einstein acerca del fotón en relación con las ecuaciones de Maxwell, da su célebre interpretación (por lo que gana el premio Nobel) (1).

Partiendo de la función de ondas se pueden calcular las estadísticas

---

\* (1) MAX BORN: Conferencia Nobel 1954. «Natural Philosophy of Cause and Chance».

de los resultados experimentales en Microfísica cuando se repiten múltiples veces los mismos fenómenos físicos.

Esta interpretación de la Mecánica Ondulatoria transforma al físico en un tahir, pues realmente lo que va a obtener en sus experimentos son probabilidades de fenómenos, lo mismo que si estuviese jugando a los dados y esperando ver qué números aparecen.

Parece que hay aquí una contradicción, porque repetir fenómenos sería repetir resultados, salvo los errores experimentales. Pero esta aparente contradicción interna de la Mecánica Ondulatoria se salva doblemente: Primero, porque desde un punto de vista teórico, según la Mecánica Ondulatoria, nunca se puede precisar en términos clásicos una determinada situación, pues hay magnitudes conjugadas, las cuales tienen estadísticas contradictorias. Segundo, desde el punto de vista experimental y complementario al anterior, Heisenberg puso de manifiesto que era imposible por experimentos llegar a precisar una determinada situación en términos de las magnitudes clásicas; por ejemplo, posición y velocidad.

Según las ideas de Heisenberg, para medir es necesario producir una interacción en lo que se mide, y refinar las medidas sería hacer esta interacción lo menor posible; pero debido a los cuantos, esta acción tiene un valor mínimo, como, por otra parte, la corrección de la medida no es posible porque el cuanto es incontrolable, resulta entonces que la precisión de las medidas puede llegar tan sólo a un límite finito y, por tanto, no se puede determinar una situación completa, una posición y una velocidad, por ejemplo, de un electrón.

Según esto, la expresión inglesa de que un gato puede mirar al Rey no se puede cumplir en Mecánica Cuántica, porque para que el gato vea al Rey es necesario que le bombardee con fotones, y entonces se corre el riesgo de que se enfade Su Majestad.

Estas ideas indeterministas de la Mecánica Cuántica no han sido solamente contrastadas con la experiencia mediante sus consecuencias, que constituyen el único conocimiento íntimo que tenemos de la materia, sino lo que es más escalofriante, por experimentos individuales, en los que se ve el completo indeterminismo de las partículas.

De esta situación se pueden deducir consecuencias muy importantes y trascendentales.

La primera es que la ley de la causalidad, tal como la interpretábamos en la Mecánica Racional, ya no tiene sentido; por ser impo-

sible determinar ya las situaciones futuras, únicamente podremos hallar la transformación de una estadística conocida con el tiempo  $t_1$  en otra correspondiente al tiempo  $t_2$ .

Siguiendo con el juego de dados, la interpretación que tiene la ley de la causalidad dentro de la Mecánica Cuántica es equivalente a que si cargamos un dado en una cara habremos modificado la estadística resultante, pero seguiremos jugando al azar como antes. Y el arrogante determinismo de la Macrofísica pasa a ser nada más que una consecuencia estadística de la ley de los grandes números.

Otra segunda consecuencia es que este conjunto de leyes establece un límite en nuestro posible penetrar en la Naturaleza; este límite viene dado por la  $h$ , que es la que fija la frontera de nuestros posibles conocimientos métricos.

Aparece también como consecuencia de ello el principio de complementariedad de Bohr, en el cual diversas magnitudes conjugadas son siempre de estadísticas contradictorias; es como si tratásemos de ver a la vez dos caras exteriores de un diedro: podemos verlas parcialmente, y cuanto más queramos ver de una, menos veremos de la otra. Estas magnitudes conjugadas son, por ejemplo, la posición y la velocidad, la idea de partícula y de onda y sus generalizaciones más o menos metafísicas de vida y estructura física, de cuerpo y alma, etc.

La Mecánica Cuántica nos ha donado todos los conocimientos que poseemos sobre la Microfísica, pero también nos impone extraordinarias limitaciones; así, nos prohíbe pensar en la trayectoria del electrón en un átomo, cuándo y cómo radia energía. Únicamente nos habla de la estadística de los resultados experimentales, pero nos escamotea cómo el individuo produce estos resultados.

El origen de la disputa, que dura desde 1927, es una cuestión tan delicada como ésta: Estas limitaciones de la Mecánica Cuántica, ¿son limitaciones debidas a que es una teoría incompleta y no definitiva? ¿O es que responden a la verdadera estructura de la realidad física?

Se llama «la interpretación de Copenhague» (1), debida a la escuela de Bohr, el admitir que la Mecánica Cuántica corresponde a la verdadera realidad del mundo físico en su más completa descripción posible,

---

(1) W. HEISENBERG: «The development of the interpretation of the quantum Theory», 1955.

con todas las consecuencias que ello pueda implicar. (Los que así piensan son los llamados por Schrödinger optimistas-pesimistas) (1).

Los grandes físicos teóricos clásicos, Einstein, Plank, von Laue, el mismo Schrödinger (los pesimistas-optimistas), han tratado de mantener su postura metafísica de un rígido determinismo, considerando la descripción que suministra del mundo la Mecánica Cuántica es provisional e incompleta, aunque extraordinariamente valiosa. Los físicos clásicos no comulgan con la idea de que si, por ejemplo, tenemos diversos átomos de uranio y uno de ellos puede emitir una partícula alfa dentro de una décima de segundo y otro dentro de un millón de años, no haya, sin embargo, nada que distinga entre sí el átomo de uranio que se desintegrará inmediatamente del átomo de uranio que se descompondrá dentro de millones de años.

Al pensar así los físicos clásicos creen que hay parámetros que tienen que determinar cuál es el átomo que se va a descomponer inmediatamente y cuál es el que tardará millones de años, y aparece con esto el concepto de las variables ocultas, ya que no es posible por hoy ponerlas de manifiesto experimentalmente. A estas variables ocultas habría que atribuirles el determinismo del devenir del mundo físico.

Tratando de quitar toda esperanza a esta creencia o ilusión metafísica (no olvidemos que el determinismo es un principio metafísico que tiene de vida como máximo doscientos cincuenta años y, por tanto, los físicos de la interpretación de Copenhague dicen que si los deterministas creen en él deben probarle para que, en lugar de ser un principio metafísico, pueda ser un principio físico operante), von Newman publicó su famoso teorema de las variables ocultas. El teorema viene a decir que si los hechos experimentales se corresponden a las predicciones teóricas de la Mecánica Cuántica, es imposible que haya variables ocultas que lleven subrepticamente el determinismo de la física clásica.

La innegable influencia de este teorema, con la gran autoridad de von Newman; la cantidad extraordinaria de trabajos pendientes de todo tipo dentro de la Mecánica Cuántica, causó que los físicos teóricos se fueron olvidando de esta disputa. Así, por ejemplo, De Broglie se pasó del bando determinista al bando ortodoxo de la interpretación de Copenhague. Einstein, de vez en cuando, preparó alguna trampa (2)

(1) SCHRÖDINGER: «Ciencia y Humanismo».

(2) A. EINSTEIN: «Papers presented to M. Born», 1953.

que pudiera poner de manifiesto la insuficiencia de la Mecánica Cuántica, aunque nunca con gran resultado. Schrödinger, también esporádicamente, expuso sus dudas con cierto eclecticismo, y a lo largo de los años se fué apagando la disputa. Únicamente en 1950, un joven físico, David Bohm (1), resucitó algunas ideas de Broglie, volviendo a entablarse la contienda. El principal resultado, a mi juicio, de los estudios de Bohm es el haber puesto de manifiesto que el teorema de von Neuman tenía una interpretación falsa desde el punto de vista físico y, por tanto, que es posible un criptodeterminismo en la Mecánica Cuántica.

Su idea fundamental es que los resultados estadísticos de la Mecánica Cuántica son compatibles con un determinismo rígido, pero que este determinismo rígido viene deformado por el instrumento de medida y por la historia anterior de las partículas.

Por consiguiente, la teoría de Bohm no es una nueva teoría, sino es una nueva interpretación de los resultados de la Mecánica Cuántica. Esto tiene la ventaja de que se apropia de todos los resultados experimentales, que están de acuerdo con la Mecánica Cuántica, pero tiene, a su vez, el inconveniente, desde el punto de vista de la teoría del conocimiento, que no añade nada nuevo y, por tanto, las variables ocultas únicamente complican la estructura lógica de la Mecánica Cuántica sin dar ningún nuevo resultado, ya que las variables ocultas siguen estando ocultas.

En pocas palabras: la teoría de Bohm ha puesto de manifiesto una cierta posibilidad lógica para teorías futuras, esas teorías futuras que todos los físicos estamos esperando ansiosamente para poder penetrar en el gran misterio de las partículas.

¿Cuál es la esencia de la posición determinista? Con Bohm y los que le siguen; por ejemplo, Wiener, se ha puesto de manifiesto que es posible un cripto determinismo que esté de acuerdo con las leyes estadísticas de la Mecánica Cuántica y, por lo tanto, que no es obligatorio abandonar el principio físico del determinismo, pero nada más. Quizá el mayor argumento de los deterministas es un argumento negativo; son las dificultades actuales que tiene la Mecánica Cuántica. Ya hemos visto que para que la Electrodinámica progrese en Mecánica Cuántica ha sido necesario que explícitamente renuncie a conocer algo so-

---

(1) D. BOHM: *Phys. Rev.*, t. 85, págs. 166 y 180; t. 96, pág. 208 (1954).

bre la estructura del electrón. Lo mismo le está ocurriendo con la Mesodinámica y sigue todavía sin obtener resultados acerca de las fuerzas nucleares y, sobre todo, lo que es peor, contra esa barrera que parece infranqueable de la teoría de las partículas.

Los deterministas piensan que si hay alguna pequeña esperanza de llegar a una teoría de partículas será como al modo de Broglie (1), enlazando la Mecánica Cuántica con la teoría del campo unificado de Einstein, y entonces dicen que la interpretación de Copenhague, con sus falsas limitaciones, puede actuar de un modo perjudicial en el avance teórico de la Física.

Es evidente que si hubiese algo de verdad, y puede haberla, en la teoría del campo unificado de Einstein, entonces fundamentalmente el cogollo o núcleo de las partículas radicaría en fenómenos no lineales. Como la Mecánica Cuántica es esencialmente lineal, sus resultados pueden ser a lo más una buena aproximación para los fenómenos estadísticos, pero no acercándose nunca a la partícula, porque está completamente desprovista de lo que le es más fundamental para entenderla.

Antes de contestar a las preguntas de los ortodoxos que dónde están los observables que puedan justificar los criterios de los deterministas, hay que tener en cuenta las siguientes consideraciones :

Se trata de traer al plano nuestro, del hombre, los fenómenos que suceden en el plano del Microcosmos, en el plano de las partículas; pero como el traer ese plano al nuestro no es posible por una observación directa es, por lo tanto, necesario traerle mediante una cadena teórica en la cual las lecturas de los aparatos de medida tienen que tener una interpretación. Hoy es inútil entrar en un laboratorio sin un gran bagaje teórico, porque los resultados solamente tienen interpretación a base de teoría; por lo tanto, la pregunta de dónde están los observables es improcedente, porque si hubiese tales observables es que era ya conocida la teoría que se está buscando.

A esto los cuánticos ortodoxos responden diciendo que este razonamiento no es Física, sino Metafísica. Hasta cierto punto es cierto : es Metafísica en cuanto no hay hechos observables que confirmen las ideas; pero hay que tener presente que la Metafísica es algunas veces conveniente para la Física, porque, de acuerdo con ideas tan restric-

---

(1) L. DE BROGLIE : «La Physique Quantique restera-t-elle indeterministe?»

tivas, hubiese sido imposible pensar en el siglo pasado en los átomos, en los electrones, etc., que, sin embargo, en este siglo pudieron ser descubiertos, por estar ya muchas mentes preparadas para ello.

También hay otra contestación sobre esto de los observables, y creo que con ello interpreto lo que ha dicho en diversas ocasiones Schrödinger (1). Los experimentos no están preparados para obtener estos observables: los experimentos de Mecánica Cuántica están preparados para registrar los juegos del azar, pero nunca cómo un electrón se mueve en el átomo o cómo ésta radia luz, por lo que no nos ha de extrañar que no haya observables en cuanto los mismos experimentos no están preparados para recogerlos.

Creo que en esta batalla del determinismo no ganarán ni tirios ni troyanos, sino serán superados todos estos conceptos.

Si pensamos nosotros en las teorías de los campos unificados nos encontraremos que realmente ya no tendrá sentido la palabra «partícula» como ente localizado, ya que estará extendida como una nube y, por lo tanto, la misma idea de una posición y velocidad precisa carecerán de significado.

#### NOTA ADICIONAL

En los últimos tiempos que los deterministas han hostigado con más insistencia a los indeterministas, algunos de éstos han replicado poniendo de manifiesto que la misma física clásica ya era por esencia indeterminista (2). Es decir, y es verdad, nunca se ha podido mostrar que, como una consecuencia de la Mecánica Racional, se pudiera establecer la irreversibilidad de los procesos, el principio de la entropía creciente. Este principio, como el teorema H de Boltzmann, solamente es posible demostrarle partiendo de ciertas ideas de probabilidades, es decir, introduciendo la estadística *a priori* y, por lo tanto, renunciando al determinismo, del que tanta gala hace la Mecánica Clásica.

Otra segunda nota curiosa es que contra la interpretación de Copenhague se levantan los rusos por razones no físicas, sino por razones metafísicas, por defender la dialéctica materialista, ya que las parece que el indeterminismo podía ir contra su idea materialista, mecanicista, del universo.

---

(1) *Il Nuovo Cimento*, 1955, pág. 5.

(2) A. LANDÉ: «Probability in classical and quantum theory».



## IX

### LA REALIDAD FISICA

Los físicos, como científicos, sentimos algunas veces la curiosidad de analizar qué clase de aportación realiza la Física al acervo del conocimiento humano: un deseo similar al de contemplar desde fuera la casa en donde habitamos. Si queremos gozar de una buena perspectiva nos hemos de alejar un poco, hemos de hacer Extrafísica; lo grave, lo aterrador es que este terreno resbaladizo también tiene otro nombre: el de Metafísica. Afortunadamente, la Metafísica al físico, como tal, es intrascendente y poco ambiciosa filosóficamente. El físico simplemente alarga el cuello tratando de vislumbrar lo que le espera tras el próximo recodo del camino, y como conoce por experiencia que su camino da muchas revueltas, no se aferra a las consecuencias trascendentes y extrapoladas de lo poco que vió.

Creemos que hay una cierta semejanza entre el proceso del individuo estudiante y el proceso histórico de la misma Física.

Así, cuando iniciamos nuestros estudios, estudiamos cosas directamente perceptibles: la teoría de los vasos comunicantes, las leyes de la palanca, todo de fácil observación directa; quizá después la teoría de la gravitación de Newton, los fenómenos del calor, etc., pero siempre vamos sacando la impresión de que las leyes físicas rezuman de los hechos experimentales, son abstracciones de la experiencia (hipótesis «non fingo» de Newton). Según vamos avanzando, el conocimiento va siendo menos intuitivo y directo, como nos ocurre, por ejemplo, con la teoría de los campos electromagnéticos; nuestro contacto directo con la electricidad es solamente incidental y desagradable.

Con la Teoría de la Relatividad aprendemos a separarnos extraordinariamente de los hechos experimentales: son los primeros pasos del niño en los que ya no busca apoyo. Es cuando se recibe el enorme impacto de que hay geometrías matemáticamente exactas, pero inuti-

lizables en el mundo real, y geometrías físicas que matemáticamente sólo conocemos de un modo aproximado. No sólo está nuestra intuición en peligro, sino aun el propio sentido común, en contradicción con lo que exigen las leyes generales de la Física. Si analizamos con un poco de detalle las teorías físicas, especialmente las más modernas, nos damos cuenta inmediata de que sus leyes no son abstracciones directas de los hechos experimentales.

El hecho experimental está tan lejos de las hipótesis fundamentales de la teoría, que éstas no pueden deducirse de la propia experiencia. Quizá puedan ser, a lo más, sugeridas del conjunto de hechos experimentales acumulados, pero en último término la teoría física tendrá que ser inventada. Una teoría física es, por consiguiente, un invento matemático, al cual se le exige que los hechos experimentales de ella deducibles estén de acuerdo con la experiencia. Ahora de los múltiples posibles inventos para explicar los mismos hechos experimentales, ¿cuál será la teoría real? Hay la creencia metafísica de que la Naturaleza siempre actúa con el esquema matemático más sencillo (en contraste con las leyes de la Administración pública). Si examinamos las diferentes teorías físicas a la luz de los principios variacionales, vemos que todas ellas toman formas extraordinariamente simples y es imposible conseguir un esquema matemático equivalente que pudiera ser más sencillo. Esto se confirma con las leyes del electromagnetismo, la teoría de la gravitación, las leyes de los campos mesónicos, las ecuaciones de Dirac, etc. Los intentos de la teoría unificada de Einstein parten también de principios variacionales en los cuales las fórmulas matemáticas que intervienen son las más sencillas que se pueden formar dentro del cuadro de la teoría.

Para ser sinceros hay que decir que muchas veces esta sencillez es engañosa, es una sencillez conseguida penosamente, un poco como los papeles teatrales de ingenua, que son representados más verazmente por las actrices con experiencia. La aparente sencillez de las teorías ha sido siempre conseguida a fuerza de retoques y elaboraciones.

No hay nada que nos garantice que las próximas teorías han de ser sencillas, porque aún al principio de inducción le podríamos hacer reversible y decir que si hasta ahora sólo hemos encontrado teorías sencillas (por ejemplo, la de la gravitación !), es tal sencillez la que ha facilitado su encuentro. Por estas razones el creer que todas las teorías

físicas han de tener estructuras matemáticas, sencillas, constituye un misticismo cosmológico, del cual Einstein era profundamente devoto.

Las teorías físicas, con el fin de explicar los hechos empíricos, van introduciendo conceptos fundamentales como átomos, electrones, protones, campos electromagnéticos, gravitatorios, mesónicos, etc., y con todos estos componentes vamos definiendo la realidad física. Pero si la única convalidación de la teoría física, como invento, es su concordancia con los hechos experimentales, es posible encontrarse con que los mismos hechos experimentales sean explicados por dos teorías diferentes y, por lo tanto, les corresponda dos realidades físicas. Ejemplos de esta dualidad son las teorías de la gravitación de Newton y Einstein, como también lo son la Mecánica de Matrices de Heisenberg y la Mecánica Ondulatoria de Schrödinger. Si puede haber diferentes realidades físicas para el mismo grupo empírico, ¿qué es entonces la realidad física? (1).

Creo que el físico teórico tendrá humildemente que reconocer que lo que él llama realidad física no es más que el reflejo del esquema que está en su mente y que goza del privilegio especial de estar de acuerdo con los hechos empíricos. Este descubrimiento es para el físico similar al del nene que, mirándose en el espejo, descubre un día que «el otro» es él mismo.

Esta definición de la realidad física tiene tintes filosóficos antagónicos: idealista, porque reconocemos que los contenidos de nuestras teorías (electrones, protones, neutrones) son puras construcciones mentales; realista por la afirmación de un mundo exterior de existencia independiente del físico. Creo que hay piedras y árboles, pero no que un electrón es una bolita que gira sobre sí misma, aunque la idea me sea cómoda y simpática.

Si deseo como físico teórico sintetizar todo lo que conozco acerca del electrón, terminaré diciendo que no es más que un grupo de sucesos que conservan algunos invariantes, como la  $e$ ,  $m$ , spin, etc., y que son los sucesos y no las partículas las que poseen una realidad objetiva. Y aunque sea un poco grosera la imagen, diría que en un conjunto de números resultante de experimentos entiendo por electrón los múltiplos de 3 y de 5, y por protón los múltiplos de 3 y de 7.

---

(1) H. MARGENAU: «The Nature of Physical Reality».

Con la tendencia en la Física Moderna de recurrir a observables y criterios operacionales, la materia ha ido perdiendo sustancialidad.

Todo nuestro conocimiento del mundo físico es un conocimiento de relaciones estructurales (1): los experimentos no son más que preguntas lanzadas a la Naturaleza y que ésta responde en su código. En las respuestas el físico trata de descubrir regularidades entre ciertos símbolos y, a la vez que descomponiéndolos, los reduce a otros más sencillos y, por consiguiente, más repetidos.

Los químicos en el siglo pasado llegaron a la conclusión que bastaban sólo 92 símbolos o elementos para representar todas las clases de materia, y hace apenas más de veinte años que los físicos han creído que bastaría sólo con dos (electrón y nucleón) para reconstruir o estructurar todo el universo material. Por hoy electrones y nucleones siguen siendo símbolos últimos, sin estructura.

El mundo real lo contempla el físico sólo a través de la ventana del espacio-tiempo y, por consiguiente, su visión puede ser fragmentaria y hay muchas cosas que puede dejar de ver. Su tarea es reconstruir el mundo real conociendo una de sus proyecciones, por lo cual puede llegar a diversos esquemas o teorías (como Poincaré puso de manifiesto), aunque su ánimo siempre esté dispuesto a aceptar como la más real la más sencilla y cómoda y, por consiguiente, el ideal científico de ir descubriendo el mundo real como Colón descubrió América ha ido perdiendo sentido. El gran anhelo científico de descubrir la última realidad late, sin embargo, estremecedoramente en la teoría del campo unificado de Einstein.

Esta limitación de la visión del mundo real pone al físico en peligro de que las ideas de contigüidad y causalidad se le escabullan por el lado que no ve, al que trata de sustituir por un aparato matemático, como el ciego puede sustituir de un modo incompleto su vista por el oído y el tacto, y así obtener posibilidades, pero no certeza.

Por la propia naturaleza del conocimiento físico puede llegarse a un límite a partir del cual pierda sentido, como una serie semiconvergente pierde aproximación al tomar más términos.

El problema físico actual es proyectar en nuestro plano sensorial y mental a través de los instrumentos lo que acontece en la profundidad del microcosmos ( $10^{-13}$  cm.). ¿Será posible encuadrarle, aunque

---

(1) EDDINGTON: «The Philosophy of Physical Science», 1949.

sea de un modo parcial, en nuestra trama del espacio-tiempo? Nunca podremos renunciar a desentrañar el misterio de la metamorfosis de las partículas y a descifrar el significado de las constantes universales y qué inter-relaciones hay entre ellas.

Los físicos de esta centuria han aprendido que el progreso del conocimiento científico exige nuevos esquemas mentales y que los más fructíferos son los que derrumban algunas de nuestras creencias más queridas, que han alcanzado la categoría de principios metafísicos, y que cautelosamente encubiertas dificultan el progreso teórico.

Cada derrumbamiento de un principio epistemológico da lugar a la paradoja y a la extravagancia. Si la teoría de la relatividad negó la categoría de absolutos al espacio y al tiempo separadamente, quizá las nuevas teorías nieguen hasta su existencia y pasen a ser nuevos valores estadísticos, como sucedió con la temperatura, la presión y otras magnitudes termodinámicas. Del mismo modo la Mecánica Cuántica renegó del determinismo físico en el Microcosmos y relegó el soberbio determinismo de la Mecánica Racional a ser también nuevas leyes estadísticas.

El físico, durante un largo camino, ha perseguido obstinadamente la materia, y cuando más cerca de alcanzarla se halla, se le evade como un girón de niebla y le es tan inaprehensible como un pensamiento, y al pobre materialista le ocurre lo que a aquel rey que estudiando su propia dinastía se traicionó a sí mismo trocándose en republicano.

#### LECTURAS :

- M. BORN : «Experiment and Theory on Physics».
- P. W. BRIDGMAN : «Reflections of a Physicist».
- M. BORN : «Natural Phylosophy of Cause and Chance».
- H. MARGENAU : «The Nature of Physical Reality».
- J. JEANS : «Nuevos fundamentos de la Ciencia».
- A. EINSTEIN : «Essays in Science».

## X

### LA INTERPRETACION FISICA DE LA MATERIA VIVA

Pocos temas habrá para el físico de tan extraordinario atractivo y de tan deslumbrador ensueño como el atrevimiento de intentar interpretar a la luz de sus conocimientos el fascinante fenómeno de la vida.

El ser vivo es un flujo permanente de materia, es una forma materializada, en contraste con lo inerte que es materia permanente en sí, que ha tomado una cierta forma como un canto rodado. Quizá el día que cumplí treinta años no había molécula en mi cuerpo que hubiese sido testigo de mi veinticinco aniversario.

En los últimos años la Ciencia Física, desarrollando nuevas teorías, ha llegado a conclusiones que tienen cierto tinte biológico, es decir, se observan ciertas homologías morfológicas y funcionales entre los fenómenos físicos y biológicos, lo que hace muy sugestivo su contraste. Y aunque el misterio de la vida siga inescrutable, esto nos permite al menos enfocarle con mayor precisión y dar a su contenido mayor nitidez, aunque quizá lo que se reduzca en extensión lo aumente en densidad.

Me siento verdaderamente desolado al tener que confesar que no podré citar muchas autoridades que avalen mis asertos: biológicamente, porque todas las cuestiones a que me refiero son *harto conocidas*, y físicamente, aparte de lo reducido de la bibliografía, porque más que poder haber acuerdos puede haber discrepancias. Esto justifica aún más mi súplica al lector que considere lo que aquí se diga como meras sugerencias y no como hechos o teorías científicas.

Decíamos en párrafo anterior que hay algunas conclusiones de las teorías físicas que apuntan hacia la Biología, y es ya hora de que las citemos:

Mendel, en 1866, descubrió las leyes de la herencia y los físicos, sesenta años después, descubrían las leyes de las rayas luminosas de

los átomos. Las leyes estadísticas que regulan ambas tienen tal isomorfismo que obligan a sospechar si no tendrán el mismo origen natural.

Esta sospecha viene confirmada por el estudio de las mutaciones, ya que este fenómeno biológico tiene una perfecta correlación física con el cambio de estructura de los genes.

Hay también otro conjunto de teorías físicas que pueden ayudar en la interpretación de los fenómenos vitales; nos referimos a las teorías de información, servos, cerebros electrónicos, etc., lo que se entiende hoy día con el nombre de Cibernética.

La posición actual de los físicos es muy humilde respecto a la que pudo haber en otras épocas. El físico actual cree que aunque todas sus leyes son válidas para los seres vivos, éstos, además, se rigen por otro grupo de leyes complementarias (grupo vitalista).

Jordán, físico que se ha preocupado extraordinariamente de estas cuestiones, cree que las leyes biológicas nunca podrán deducirse de las leyes físicas, pues son campos distintos, como, por ejemplo, las leyes de la Electrodinámica nunca podrían deducirse de las de la Mecánica Racional.

Después de pedir perdón por mi osadía, me atreveré a discrepar de esta opinión. Realmente la situación es diferente; en la actualidad conocemos muy bien los últimos elementos componentes de la materia viva (núcleos y electrones) y no sólo conocemos estos componentes, sino, además, las fuerzas que les ligan, que son puramente electromagnéticas, y no ha habido fenómeno hasta hoy que nos pueda hacer dudar de ello. Pudiera parecer que si conocemos los componentes y las fuerzas que los ligan el problema debería estar ya resuelto, pero en la misma Física hemos aprendido que no es suficiente esto, que cuando vamos a formar una estructura es, además, necesario conocer un principio organizador. La Mecánica Cuántica, desde sus comienzos, tuvo su principio organizador: el principio de exclusión de Pauli. Este principio es extraordinariamente sencillo: dice que no puede haber más de un electrón en cada estado cuántico. Esta misma sencillez no está reñida con su fecundidad; casi la totalidad del conocimiento que poseemos de la materia descansa en el principio de Pauli. No podríamos sin él conocer cómo se forma un átomo (salvo quizá por su fotografía), una molécula o un cuerpo sólido; si sabemos la diferencia de estructura que hay entre un conductor y un aislador y lo que es un semiconductor; si podemos figurarnos cómo es un cuerpo ferromag-

nético y todos los intentos para llegar a conocer qué es un superconductor, en tal principio se han de fundamentar.

Por ser el principio de exclusión de Pauli un principio organizador, mediante él se obtienen las propiedades emergentes, es decir, las propiedades que tiene un conjunto que, sin embargo, no están contenidas en cada una de sus partes: como una sinfonía fluye de la composición de diferentes instrumentos. Del mismo modo podemos pensar o sospechar que hay un principio organizador vitalista que con los mismos componentes con que se forma la materia inerte forma la materia viva, como del mismo trozo de mármol puede labrarse un simple escalón o una bella figura.

Una proteína, en general, o un cromosoma, en particular, es una escalera de caracol cuyos miles de escalones son moléculas de aminoácidos de unos pocos tipos (24), colocados en riguroso orden. ¡Qué poco podemos ayudar los físicos en su entendimiento cuando estas estructuras atómicas están ya en el borde en que se nos evade la materia!

Una de las actuaciones más dramáticas del principio organizador vitalista es la reproducción de las células cuando los cromosomas se duplican. Me imagino que es como un proceso de cristalización en el cual cada molécula del aminoácido del nuevo cromosoma se coloca al lado de su correspondiente matriz. ¿Será para facilitar este proceso por lo que tienen la forma helicoidal? Por ser estructuras de alta degeneración no es necesario que sean idénticas para su mismo comportamiento físico; podrían ser gemelas.

Sabemos que a lo largo de los cromosomas, formando sus escalones moleculares, están los genes (con un peso molecular de  $10^6$ ), los soportes de las características hereditarias o de tipo (20.000 pares aproximadamente en el hombre). El gene es de dimensiones muy reducidas; basta su bombardeo con partículas para producirle un cambio de estructura, provocar una mutación. En general, las mutaciones son perjudiciales; como se ha dicho, bombardear el gene de un cromosoma es lo mismo que estar disparando contra una estatua: raramente se la podrá embellecer. Todo esto es conocido, por lo que no merece la pena extenderse en ello. Los fenómenos de las mutaciones están de acuerdo con las leyes de la Mecánica Cuántica. Únicamente quisiera hacer la reflexión de que el fenómeno de las mutaciones también ocurre, como es natural, en la materia inerte. Un rayo cósmico, un flujo de



neutrones produce una mutación, un cambio de estructura en un sólido. La diferencia, la tremenda diferencia, es que mientras en la materia inerte no tiene trascendencia, es un fenómeno localizado, en la materia vida se reproduce, por lo que una sola mutación puede haber producido una nueva especie en la superficie de la tierra. Estudios de Filogenia han puesto de manifiesto que en los últimos años han aparecido nuevas especies vegetales y animales y que analizando su proceso histórico se llega a la conclusión de que se han iniciado en muy pequeñas áreas, lo que hace sospechar que quizá han tenido su origen en un único individuo y por el cambio de un solo gene.

Habría otras muchas consideraciones y consecuencias de la idea física de las mutaciones, pero creo que se apartan de nuestro tema fundamental y, además, he de decir con sinceridad que no las he reflexionado bastante para poder exponerlas con cierta honradez intelectual.

## XI

### CONSIDERACIONES TERMODINAMICAS

Si, desde el punto de vista del físico, un ser vivo es un flujo de materia, a tal flujo se podrá intentar aplicarle las leyes de la Termodinámica. Hagamos un análisis de su aplicación.

Pocas veces ha habido un «slogan» tan afortunado como la frase de Schrödinger de que los seres vivos se alimentan de «entropía negativa». No puedo recordar la de veces que la he visto reproducida en revistas y libros, pero sí puedo citar, y con gran satisfacción por mi parte, la única vez que la he visto discutida (1). Tan cierto es que los seres vivos se alimentan de entropía negativa como lo es también que lo hacen las máquinas eléctricas, los motores de explosión y las centrales telefónicas; en general, en todos los aparatos que consumen energía hay que prever su refrigeración.

Quizá lo que Schrödinger quiere decir es que el ser vivo, como máquina termodinámica, realiza el maravilloso proceso de llevar a un super-orden (órganos, tejidos, células, proteínas) el flujo material que recibe del exterior. Y es evidente que la entropía final del ser vivo es mucho menor que la que le corresponderá al mismo conjunto material desordenado, ya que la entropía es una medida del desorden.

Siguiendo a Schrödinger, las leyes biológicas sacan orden del desorden, mientras que las leyes físicas producen o tienden a producir desorden del orden (principio de la entropía creciente). Pero aun esto no es cierto para las mismas leyes físicas: las leyes físicas permiten sacar orden del desorden a fuerza de aumentar el desorden, como un ama de casa puede ordenar el despacho mandando lo que le estorba al desván. Son fenómenos físicos los que permiten separar el N del O del aire, purificar una sustancia por cristalización o separar el  $U^{235}$  del

---

(1) J. PALACIOS: «De la Física a la Biología».

$U^{238}$  del uranio natural. Las entropías resultantes son inferiores a las iniciales en los sistemas parciales considerados.

Que el ser vivo se componga de células y aun en éstas se mantengan en sus componentes estructuras definidas como los cromosomas obliga a considerar al ser vivo como un conjunto sometido a leyes microscópicas que trascienden al mundo macroscópico y, por lo tanto, el ser vivo no es representable por unas leyes termodinámicas de carácter global y macroscópico, como lo puede ser el comportamiento de las moléculas de un gas. En unas cuantas células de la materia gris reside una de nuestras percepciones sensoriales o actúa el espíritu, confiriéndonos la gracia de la inteligencia, el sentimiento, la pasión...

Si forzamos la interpretación física a su máximo (lo que es un deber ontológico del verdadero científico) solamente será aplicable la mecánica estadística cuando se tenga en cuenta el fino detalle constitutivo del ser vivo. El tema es delicado y juzgamos que no será oportuno en este momento extenderse en él; en su reflexión hemos perdido largas horas, y es posible que algunas de nuestras ideas puedan ser de interés.

Físicos y técnicos hemos aprendido recientemente a tener en consideración y a valorar una nueva magnitud inmaterial, que llamamos información, y que nos ayuda a dar una nueva interpretación a las cuestiones abstractas de mecánica estadística; información y entropía están estrechamente ligadas; la entropía de un sistema físico definido macroscópicamente es equivalente a la cantidad de información necesaria para que el sistema estuviese perfectamente definido en sus detalles microscópicos.

Por muy iluso que fuese, nunca tendría la osadía de dar reglas operacionales para el cálculo de la entropía termodinámica de un ser vivo, pero sí me atreveré a dar dos modelos supersimplificados de tales cálculos.

a) *Modelo estático*.—Consideremos un mosaico pompeyano completamente desordenado, del que faltan algunas piezas (así se asemeja la movilidad de los líquidos) y del que se conserva algún dibujo. Es evidente que habrá múltiples reconstrucciones, y su número medirá la entropía del sistema. La información dada por el dibujo reducirá extraordinariamente el número de posibilidades.

b) *Modelo dinámico*.—Supongamos que nos dan el mismo mo-

saico desordenado, pero la información descansa en la relación entre piezas contiguas; entonces también se obtendrán diversas reconstrucciones, cuyo número medirá la entropía del sistema.

Este modelo dinámico, formado no con figuras preestablecidas, sino con reglas de desarrollo fijadas, quizá se acerque más a la realidad del ser vivo, cuyas reglas de mantenimiento y desarrollo están codificadas en las proteínas y cromosomas de sus células. Así desarmadas las proteínas-ratón en sus aminoácidos, vuelven a armarse en la forma de proteínas-gato.

Si los procesos vitales son procesos de ordenación, que estremece-doramente cerca de todo esto se encuentra el diablillo de Maxwell, ordenando la separación de las moléculas rápidas de las lentas, abriendo el orificio del tabique que separa los dos recipientes del mismo gas. Ya veíamos al diablillo de Maxwell disfrazado de encimo, ordenando proteínas, burlándose de la segunda ley de la termodinámica; pero la teoría de la información le ha desenmascarado y sus dotes de prestidigitador de entropías han quedado reducidas a una caja de doble fondo; lo que desaparece de un lado, es lo que ha ocultado en el otro.

## XII

### EL SER VIVO COMO UNIDAD FUNCIONAL

Hemos dicho que un ser vivo es un flujo de materia, una forma materializada, un extraño dibujo en la corriente de un río que milagrosamente permanece.

La unidad permanente del ser vivo proviene de la unidad de su origen: se originó de una sola célula y por mitosis, reproduciéndose casi siempre en identidad, cromosomas con sus genes, crece y se mantiene. (Durante la vida del hombre se producen unas  $10^{12}$  copias.) Cada célula, en sus cromosomas y en el detalle de sus genes, tiene escrito el código de lo que ha y cómo lo ha de hacer. El cuándo le será comunicado por los impulsos del sistema nervioso como órdenes más o menos locales, o por las secreciones de las glándulas de una manera más o menos general.

La sinfonía de la vida de un ser vivo es interpretada simultáneamente por millones de ejecutantes, cada uno con su partitura, atentos a su entrada y al ritmo impuesto. No importa que los ejecutantes se renueven constantemente si cada uno tiene su partitura, pero lo que sería terrible es que una partitura con error cundiese, pues la sinfonía podría interrumpirse catastróficamente.

¿Cómo puede mantenerse ese equilibrio dinámico entre sus múltiples diferentes partes? Y lo que es aún más importante desde nuestro punto de vista, ¿puede la Física cooperar a una mejor interpretación de los fenómenos vitales?

Hasta hace apenas más de diez años el método científico ha consistido en aislar o reducir los fenómenos naturales a su estructura más sencilla. En general, el físico sólo estudiaba sistemas sencillos y se justificaba o consolaba pensando que los sistemas complejos eran yuxtaposición de sistemas sencillos. Pero la necesidad técnica del estudio de sistemas complicados, como tales, se ha puesto de manifiesto con los

dispositivos de regulación y actuación automática, pues aunque el comportamiento de cada elemento sea bien conocido, no lo es la actuación del conjunto, es decir, las propiedades emergentes de la complicación estructural.

De las ideas de Wiener, Shannon y otros ha surgido una nueva ciencia, la Cibernética, que estudia los sistemas complejos únicamente en su aspecto funcional, prescindiendo completamente de su composición material, lo que permite reconocer una similitud funcional entre sistemas materiales muy distintos, encontrándose así el físico, por primera vez, con sistemas complicados (como los cerebros electrónicos) que por su comportamiento recuerdan al de los seres vivos.

Una primera similitud funcional aparece inmediatamente entre los reguladores de retroacción y los procesos homeostáticos en la vida animal, entre los cuales hay también una similitud morfológica. Los llamados reflejos, que dan una estabilidad dinámica a nuestra temperatura, presión de la sangre, circulación, óxido de carbono y glucosa en la sangre, el equilibrio dinámico del cuerpo en diversas circunstancias, son aspectos funcionales de sistemas cuya estructura se asemeja extraordinariamente a la solución que un ingeniero especializado en Cibernética daría a las mismas cuestiones planteadas en el mundo inerte. Pero el éxito de estas similitudes elementales aumenta nuestro apetito intelectual y nos obliga a esforzarnos en la interpretación de otros fenómenos vitales más complicados, como la autorreparación, la ultraestabilidad y la reproducción, lo que nos arrastra a plantearnos las siguientes cuestiones:

- a) ¿Podremos construir máquinas que se autorreparen?
- b) ¿Podremos construir máquinas que, a pesar de averías irreparables, sigan funcionando?
- c) ¿Podremos construir máquinas que se autorreproduzcan o puedan por sí mismas construir máquinas más complicadas?

He aquí tres pequeñas respuestas, en las que no puedo pretender haber sintetizado los conocimientos actuales referentes a temas de tan difícil y rápida evolución.

De los pocos conocimientos neurofisiológicos que tenemos se desprende que un mensaje importante no se confía a una sola neurona, es decir, trata de conseguirse una cierta seguridad por multiplicación de elementos, como muchas personas llevan instaladas dos bobinas de

encendido en su coche. Analicemos ahora la cuestión : un cerebro electrónico tiene demasiadas válvulas y componentes electrónicos más o menos durables para podernos confiar en sus resultados, pero si utilizásemos tres cerebros electrónicos simultáneamente, podríamos contrastar los resultados, y si coincidiesen, lo tomaríamos como correcto, pero si tan sólo coincidiesen dos, quizá nos atreviésemos a tomar éste como correcto y supondríamos que el tercer cerebro estaba averiado. Para facilitar la búsqueda de la avería, podríamos ir comparando por partes y hasta quizá podríamos llegar a realizarlo automáticamente. Pues bien : si tratamos de construir un sistema electrónico que automáticamente corrija sus averías con una cierta seguridad, nos encontramos que es necesario llegar a multiplicaciones enormes (por ejemplo, en un cerebro electrónico, a 2.000 multiplicaciones). Es decir, por hoy, el problema de la autorreparación automática no está resuelto, aun contando con los transistores. Si ahora trasladamos estos resultados a la Biología, sustituyendo célula por válvula, que en un sistema de  $10^{10}$  células haya una gran redundancia multiplicativa en lo fundamental no complica extraordinariamente el sistema ni reduce su capacidad.

Los seres vivos tienen una extraordinaria flexibilidad y adaptabilidad respecto a las «averías». Un cerebro puede parecer funcionar correctamente aunque algunas de sus partes estén gravemente dañadas (y esta gran flexibilidad hace más difícil todavía localizar sus funciones) : en la «avería» de uno de sus canales reacciona desviando el tráfico, afectando a otros canales. Esta busca automática de un nuevo equilibrio es lo que se llama en los sistemas inertes ultraestabilidad.

No quiero ni imaginarme lo que sucedería si se cambiase la conexión del motor del timón de un piloto automático ; un golpe de viento en el avión le desviaría de su rumbo, y el piloto automático, en lugar de enderezarle, le desviaría aún más (algo similar ocurrió en el lanzamiento fallido de la última bomba H) ; pero si se instala un relé que a grandes desviaciones cambiase de conexión, entonces el sistema actuaría correctamente. Es decir, con la instalación del relé habríamos conseguido un sistema ultraestable en el que la conexión del motor fuera en principio indiferente. El desarrollo de esta idea fundamental nos lleva al estudio de sistemas complejos ultraestables, pero en los que emerge la desagradable cualidad de que los tiempos necesarios para alcanzar la estabilidad final crecen exponencialmente

con los grados de libertad y, por lo tanto, con el riesgo de no entrar en régimen estable antes de producirse la catástrofe; sin embargo, volviéndose hacia la Biología, se ha creído sorprender el truco de cómo consiguen con relativa rapidez la estabilidad los seres vivos: a fuerza de sistemas parciales multiestables.

---

Van Neumann ha estudiado dos posibles modelos para la auto-reproducción de una máquina: el primero, partiendo de componentes elementales (una especie de mecano) y procediendo a su ensamble automático, y el segundo, partiendo de elementos idénticos llegando a estructuras complicadas. Una de sus conclusiones más interesantes es que para que un sistema sea autorreproducible necesita superar una complejidad crítica (unos 10.000 elementos), y que máquinas con menor complejidad sólo pueden reproducir máquinas más sencillas, y que las máquinas que la superen pueden lograr máquinas de creciente complejidad.

Contando siempre con la benevolencia del oyente o del lector, vamos a osar hacer algunas consideraciones cibernéticas sobre la reproducción biológica: ¿Cómo de un óvulo surge o se desarrolla un conejo, un gusano o un músico? La teoría ingenua de la preformación (el óvulo no es más que un micro-conejo, un micro-gusano o un micro-músico) ha quedado sustituida por la idea del gene código en el cromosoma. Pero consideradas ambas ideas desde el punto de vista de la teoría de la información, serán equivalentes, como lo son el mismo número escrito en caracteres romanos o en el sistema decimal. Pero lo que parece cada día más claro es que la información contenida en el cromosoma en sí es insuficiente para especificar de un modo completo las características del ser vivo a que va a dar origen (aunque hasta hace poco creyésemos lo contrario), y como, por otra parte, es innegable la trascendencia de las leyes de la herencia, nos enfrentamos con el problema cibernético de que la estructura del ser vivo contiene más información de la que podría haber en su embrión, y como la información puede perderse, pero no crearse, nos queda como único recurso atribuir el exceso de información al medio ambiente que le circunda.

Cibernéticamente es posible que, partiendo de un regulador de una



cierta complejidad, alcanzar otro regulador de mayor complejidad, si se le ha añadido información y, por lo tanto, el gene actúa como un código de regulación y no como un código de resultado. El embrión, actuando como regulador en su medio ambiente (que actúa a su vez como regulador complementario), da lugar a un sistema de regulación de superior jerarquía, llegándose así al cerebro como órgano regulador de jerarquía máxima. Que no está el ser vivo en el embrión completamente determinado y que en su evolución actúa el ambiente como regulador, queda, a nuestro parecer, confirmado por los cambios profundos en la evolución en los llamados fenómenos de inducción. En resumen, los caracteres hereditarios aparentes o perceptibles no se transmiten en el complejo de los genes, sino son consecuencia del desarrollo partiendo de reguladores primarios con elementos semejantes.

## XIII

### LOS MECANISMOS DEL PENSAMIENTO

Al referirnos a los mecanismos del pensamiento no queremos ni siquiera insinuar que el pensamiento sea mecánico: sería como si por recibir instrucciones de cómo se prepara un lienzo y una paleta de colores creyésemos pasar a la posteridad pintando cuadros al óleo.

Al hablar de cerebros electrónicos se origina, en general, confusión, pues, como es natural, el mismo léxico técnico está basado en meras analogías funcionales con los cerebros humanos, aunque en el ánimo del técnico esté muy lejos de suponer que sus máquinas posean atributos humanos. Bien es verdad que algunas máquinas realizan funciones que hasta ahora eran privativas de la inteligencia humana: razonamientos lógicos, cálculos numéricos archicomplacados, juegan sacando ventaja al oponente si es humano, regulan con seguridad el tráfico de ferrocarriles, traducen idiomas, tratan de aprender, etc.

¿Hay procesos mentales automáticos en el cerebro? Quizá la mejor manera de ponerlo de manifiesto sea construir modelos de metal y aislante y estudiar su comportamiento.

Uno de los ejemplos más brillantes y sugestivos en este sentido es el ratón de Shannon. El juguete consiste en un tablero de  $5 \times 5 = 25$  cuadros, que mediante tabiques móviles entre cuadros contiguos puede tomar la forma de un laberinto arbitrario. Un imán permanente con ruedecillas representa al ratón, el que es movido por un electroimán que corre por debajo del tablero, que está gobernado a su vez por un juego de 110 relés. Si se abandona al ratón en el laberinto, se empieza a mover tropezando con los tabiques, y poco a poco, a fuerza de correcciones, avanza por el laberinto buscando su salida. Si una vez que ha terminado su recorrido se le vuelve a cualquier punto del mismo, avanza sin vacilación ni tropiezo hacia la salida, y si se le gasta la broma de cambiar uno de los tabiques, tropieza,

pero rectifica otra vez su itinerario hasta empalmarle con lo que queda del primitivo.

Es evidente que el ratón de Shannon, aun en un nivel muy rudimentario, presenta ciertas cualidades, como son : a) Resolver problemas por tanteo ; b) Recordar las soluciones correctas conseguidas ; c) Corregir una información errónea, y d) Olvidar una solución cuando no es aplicable. Yo le encuentro una gran imperfección : para reproducir la conducta humana debiera el ratón de Shannon tropezar dos veces en el mismo obstáculo.

Tratemos ahora de imaginarnos una máquina electrónica que reprodujese en lo más posible, en su aspecto funcional, el cerebro humano.

Los físicos, especialmente los que nos dedicamos a profundizar los temas referentes a la comunicación o información, hemos aprendido, después de muchos años, que la mejor manera de transmitir un mensaje es lanzando impulsos (todo o nada, a la manera telegráfica), pues es el modo más fácil de reconocer una señal y el de regenerarla si es necesario, ya que sobre la forma no hay duda y lo variable es el momento de recibirla. Y no es pequeña nuestra sorpresa al enterarnos que los biólogos debían conocer esto perfectamente, pues la transmisión de señales en el sistema nervioso a través de las neuronas (velocidad máxima, 100 m/s.) se realiza de acuerdo con este código, es decir, que nuestro modernísimo método de modulación de impulsos por tiempo está funcionando con gran eficacia desde que se inició la vida animal.

Parece que por el comportamiento de las neuronas puede establecerse una cierta semejanza funcional entre la neurona y una válvula electrónica, o quizá, dadas las múltiples ramificaciones de la neurona, sería mejor compararla con un transistor de múltiples electrodos. Si ponemos en marcha la comparación del cerebro con una máquina electrónica, necesitaríamos  $10^{10}$  válvulas, y siguiendo las comparaciones de McCulloch, necesitaríamos un edificio como el Empire Building, la potencia de las Cataratas del Niágara para satisfacer su consumo de energía y las aguas del río Niágara para refrigerarle (aunque el modelo sólo consume 2,5 W.).

Pero aparte de lo abrumador de las cifras, cuando realmente aparece su parte más intrigante y la tarea más fascinadora es cuando empezamos a percibir las extraordinarias diferencias en la concepción

de las estructuras entre el cerebro vivo y el cerebro metal. Las conexiones de un aparato electrónico tienen que ser exactas, sin lo cual no puede funcionar correctamente, mientras que las conexiones nerviosas tienen el aspecto de haberse realizado al azar por completo.

El fallo de un elemento en un aparato electrónico es causa de avería en su funcionamiento, mientras que en un ser vivo el fallo de elementos no causan ningún trastorno en su régimen funcional.

Parece que en el cerebro hay también dos tipos de memoria, como en los calculadores electrónicos: una circulante, en ciclo cerrado y autorregenerándose, o memoria en activo, y otra memoria pasiva o en almacén. ¿Qué capacidad tendrá este almacén? La conjetura es que cada segundo tomamos como diez instantáneas que deben contener cada una mil detalles, lo que nos lleva a una capacidad del almacén de  $10^{13}$  ítems para la vida completa. Tan gran número nos hace sospechar que no es suficiente para fijarlos el fenómeno de sinapsis entre las neuronas, y que quizá el elemento fijador tenga que ser una escalón más bajo y abundante. Y como para que perdure la memoria tendrá que ser un elemento autorreproducible, puede atribuirse que el elemento fijador sean las proteínas con sus diferentes niveles cuánticos, y entonces ya dispondríamos de  $10^{21}$  elementos de fijación.

En este tan enorme almacén de  $10^{10}$  ítems, ¿cómo es posible clasificarle y conseguir con gran rapidez obtener el ítem necesario con sus múltiples entradas posibles? ¿Cómo una sensación se transforma en percepción? Porque fácil nos es concebir, después de la experiencia de la T. V., cómo una imagen puede ser transmitida por impulsos desde la retina al cerebro, pero lo que parece extraordinariamente complicado, si aun fuera posible, es que una máquina pudiese reconocer la imagen tomada en diversas circunstancias. El único camino que parece posible sería someter los datos sensoriales a diferentes y simultáneas transformaciones hasta encontrar coherencia entre los datos recibidos y los existentes de experiencias anteriores (algunas coherencias parciales llevan a errores psicológicos). Ciertos tipos de operaciones realizadoras de las transformaciones en la memoria circulante serían representativos de los universales.

¿Cómo es posible que tal mezcla de informaciones no origine error y degeneración de las mismas? Esto es debido a la extraordinaria redundancia de los canales, que transmitiendo simultáneamente la misma información reducen extraordinariamente la posibilidad del error;

es como recibir el mismo telegrama por diversas vías telegráficas a la vez. Aquí es interesante recordar el teorema de Shannon sobre los canales de transmisión con ruido y los efectos de las redundancia.

Según se avanza en el análisis de los mecanismos posibles del pensamiento, se perfila cada vez más netamente la pregunta: ¿Pueden las máquinas pensar? Quizá en el futuro tengamos que desdoblar la palabra pensar en dos acepciones: una, actuación automática de nuestro cerebro, y otra, acción del espíritu en el cerebro, y limitándonos a la primera acepción, podríamos decir que las máquinas sí pueden pensar, aun sacándonos ventaja a nosotros mismos.

Otra manera que creo equivalente de plantear la misma cuestión sería preguntarse: ¿Es el cerebro una máquina? Esta pregunta está en íntima conexión con la cuestión teológica de la predeterminación o del libre albedrío y con la física del determinismo o indeterminismo.

Aunque la respuesta a todas estas cuestiones se salga del terreno de la Física, sí es agradable para el creyente (pero sin concederle gran trascendencia) conocer que los últimos desarrollos físicos se orientan más hacia el libre albedrío que hacia el rígido determinismo. Y digo que sin gran trascendencia, en cuanto por pura jerarquía intelectual tenga más fe en mis creencias que en las teorías, y, por consiguiente, considero innecesario que éstas traten de justificar aquéllas.

Y con el fin de completar la cuestión, expondremos las principales ideas, de carácter más o menos físico, que se han barajado:

1.<sup>a</sup> Toda la Física anterior a la Mecánica Cuántica, incluida la teoría de la relatividad, es absolutamente determinista, y, por tanto, si estamos formados por partículas materiales, todo el Universo, incluidos nosotros mismos, está desarrollando un programa perfectamente previsto e inalterable. ¡Somos figuras de un mecanismo de relojería sin volición posible!

2.<sup>a</sup> Bohr extiende la propiedad de las variables conjugadas bajo la forma de principio de complementariedad. En el caso que nos ocupa, los entes conjugados serían el proceso vital y la estructura física del cuerpo, y estos términos son antagónicos. Porque para conocer con detalle la estructura física del cuerpo habría que llevar el análisis a tal extremo que el proceso vital quedaría destruido; por lo tanto, es imposible un determinismo en los seres vivos. Obsérvese que este razonamiento (de autopsia) no es privativo de la Mecánica Cuántica y,

además, que en todo caso evitaría que nosotros pudiésemos determinar el destino, pero no que éste no estuviese ya fijado.

3.<sup>a</sup> Sabemos por la Mecánica Cuántica que en Microfísica falla el determinismo y es sustituido por el juego de dados. Según esto, si las leyes de la Microfísica llegasen a trascender a nuestra conducta, aparte de poder ser una explicación de la psicología femenina, es completamente inaceptable desde un punto de vista ético; las leyes morales no tendrían sentido.

Si hubiese de dar mi opinión sincera, diría que estas cuestiones no son científicas, que es extrapolar conocimientos logrados sobre una determinada área empírica a otros dominios, en los cuales justamente son inaplicables los mismos métodos.

No sé si los neurofisiólogos creen que en el lóbulo prefrontal de la corteza cerebral radican (*echan raíces*) las cualidades más sublimes del hombre, donde espíritu y materia se sueldan, pero sí sé que este ensayo, bien o mal escrito, a derechas o a torcidas, no hubiese sido posible si una de las tres Personas de la Santísima Trinidad, el Espíritu Santo, no hubiese llevado mi pluma.

HE DICHO

DISCURSO

DE CONTESTACION DEL

Excmo. Sr. D. JOSE ANTONIO DE ARTIGAS SANZ

EXCMOS. SEÑORES :

SEÑORAS, SEÑORES :

Si ya es profundo mi agradecimiento a la Academia al honrarme hoy con su representación, séame permitido además empezar subrayándolo, por ostentarla cuando vamos a recibir al nuevo Académico Don Antonio COLINO LÓPEZ, cuyo discurso acabáis de admirar.

Este ingeniero joven, que nuestra Institución consagró al elegirlo por votación unánime, había cautivado, ya de estudiante, las esperanzas de sus maestros, y quizá especialmente de quien tuvo la fortuna de iniciarle en la Ampliación de Estudios y de encabezar su presentación aquí. Disculpad esta alusión personal, que me siento obligado a dejar manifiesta por el encendido fervor hacia el recipiendario que en seguida advertiréis que inunda mi contestación ; y como aún supera a este fervor el respeto que él y vosotros me inspiráis, espero eludir los adjetivos e ilustrar su bienvenida con puros y auténticos ejemplos, que os hagan juzgar por vosotros mismos del enriquecimiento que su llegada es para la Academia.

Así lo haré, no bien haya rendido mi homenaje al R. P. Enrique DE RAFAEL, S. J., inolvidable académico que llevó la Medalla dispuesta ya esta tarde para pasar al pecho de COLINO. La diferencia de generación y de trayectoria impidió, como él hace notar, que llegaran uno y otro a tratarse ; pero las condensadas líneas dedicadas en el discurso que habéis oído a honrar la memoria del que fué nuestro compañero insigne, descubren que el nuevo ha intuído sintética y certeramente aquel modelo humano de cuya amistad yo pude gozar ya desde la adolescencia.

Las necrologías que en nuestra propia Institución consagraron al Padre DE RAFAEL el Secretario perpetuo Don Obdulio FERNÁNDEZ y el Numerario de Exactas Don José A. SÁNCHEZ PÉREZ me relevarían aquí de todo intento biográfico que ellos consumaron ejemplarmente.



Aun así, os suplico recibir edificante noticia de un exclusivo rasgo de virtud suya que me fué dado comprobar con impresionante inalterabilidad en su carrera: el de subordinar su libertad no sólo a las voluntades santas de su instituto religioso, sino a las que sólo se hubiese ligado por la amistad o el compañerismo de trabajo. Esta excepcional benignidad para someterse a las decisiones de los otros, a pesar de sentir firmemente, como todo sabio, su propia independencia de juicio, me produjo siempre una admiración que el hábito no llegó a moderar. Os reflejaré aquel rendimiento en destellos de su vida a través de la adolescencia, la carrera, la enseñanza, el culto a la amistad y la Academia.

Recordemos que el Padre, como se observa en los vástagos fuertes de las dinastías, fué producto selecto de cruces de razas. Era español su abuelo paterno, Don Rafael DE RAFAEL, escritor catalán que fundó un periódico en La Habana para defender a la metrópoli, y lo eran también su padre y sus hermanos; pero sus otros abuelos tenían las tres nacionalidades distintas: estadounidense de origen irlandés, belga y francesa. También como al príncipe, coetáneo suyo, hijo de ALFONSO XII, le había de señalar Dios el duro camino de perder el autor de sus días casi al entrar en la vida. En cambio, había de recibir ese refuerzo mágico de la educación materna con el que la viuda a menudo reacciona sabiendo consagrarse a sus hijos heroicamente.

Y como «nano» prodigio de catorce años fué designado por el Director de su Colegio de San Juan Berchmans, en Barcelona, para presentarse al Premio Extraordinario del Bachillerato no sólo en Ciencias, que era su vocación predominante, sino también en Letras. Precedió la prueba de éstas, obteniéndolo por unanimidad, y ante el ruego de un compañero de estudios del propio colegio que no esperaba lograr el de Ciencias si él se presentaba, se adelantó a renunciar, y fué éste, en efecto, quien lo consiguió (\*). ¡Hermoso augurio de un carácter cristiano!

---

(\*) No oí nunca al Padre aludir a este rasgo, aunque a veces le escuché recordar los años de principio de siglo, por su trabajo con TERRADAS y por sus principios de herencia familiar de patriotismo unitario y monárquico, que le hacían evocar con ternura sus vítores y fervores en la visita de ALFONSO XIII a Barcelona en el año en que subió al Trono.

La noticia de aquella generosa condescendencia ya de adolescente, la he debido

Ya en Facultad mayor, su ilusión de estudiante había sido seguir la carrera de Ingeniero Industrial, y aunque aprobó con ese propósito en la Sección de Ciencias Exactas las primeras asignaturas, no había de salir de ella hasta doctorarse, atendiendo a insinuaciones que tampoco se decidió a desoír. Sólo al ingresar tres años después en la Compañía de Jesús impone su voluntad—como tres siglos antes la había impuesto para la propia vocación su glorioso predecesor el P. Baltasar GRACIÁN—.

Pero más tarde, cuando el P. PÉREZ DEL PÚLGAR planea para su Instituto en Madrid una orientación científica de los más altos vuelos, a aquí viene con entusiasmo a trabajar en Física Matemática; y no bien nos había enfervorizado abordando los temas más áridos (teoría del experimento de MICHELSON, Relatividad restringida Eulerianas), nos anonadó un día despidiéndose con su afable y sincera sonrisa, al decirnos simplemente que se disponía a salir para la India según orden que acababa de recibir.

De allí había de ser llamado a Lieja, no sin haberse visto entretanto desairado por el mejor de sus amigos, TERRADAS, a quien con clarividente desvelo trató insistentemente de disuadir de que acudiese a unas oposiciones, en las que todo hacía temer que el sabio Profesor universitario aparecería incomprendido. Ejemplar fué su resignación ante la repulsa de aquel compañero cuya relación de respeto y afecto para él nos había hecho siempre a todos recordar la amistad perfecta entre MONTAIGNE y LA BOETIE.

Muerto ya el gran TERRADAS, el Padre, que cuidadosamente había guardado y comentado el problema con que se instrumentó aquella histórica incomprensión, seguía retrayéndose de publicarlo; y una vez más cedió a apremiantes instancias e hizo conocida de todos la génesis del triste abuso de autoridad.

Pero mi impresión más honda y espontánea de aquella inagotable benevolencia del sabio jesuíta la recibí reiteradamente año tras año, cuando terminábamos aquí nuestro trabajo en las sesiones de sección.

Los superiores de su Residencia le tenían siempre autorizado con

---

a su antiguo discípulo y después predilecto Profesor del Instituto Católico de Artes e Industrias, don Jesús de LASALA, quien pudo precisar numerosos y auténticos datos familiares, por bondadosa comunicación de la hermana del Padre, señora Matilde DE RAFAEL.

cariñosa consideración para que regresase de la Academia a la hora que pudiera, aunque hubiese de rebasar la normalmente establecida. El agradecía de corazón el privilegio, pero sufría pensando en que en alguna ocasión podía aparecer a otros excesivo; y como sus profundas y agudas reflexiones sobre temas científicos, frecuentemente de alcance universal, nos hacían a veces demorarnos, era conmovedora, al advertir el reloj, la turbación casi infantil del Padre para que le ayudásemos a llegar a recogerse reduciendo unos pocos minutos su posible retraso.

En aquella Residencia había de entregar a Dios su alma pocas horas después de dar a fin de curso su última clase.

¡Qué inolvidables lecciones de humildad de un espíritu con la vigorosísima individualidad intelectual de aquel numerario de nuestra medalla 25 que fué el ejemplar Padre Enrique DE RAFAEL!

Y es hora de hablar de su heredero.

## PRIMER PERFIL PERSONAL

### LA ELECCION

Los Académicos y cuantos entre vosotros os ocupáis en la Física estáis, después de oír su discurso, rebotando de satisfacción ante la síntesis que nos ha dedicado; y a todos nos deleita la traza de su obra de arte que, cual todas las de superior concepción, tanto resplandece en los monumentos elevados al color o a la forma, como en éstos en que la reina de las Ciencias de la Naturaleza nos entrega el secreto del mundo material que nos envuelve.

En cuanto a mí, que por grato deber de cortesía he de seguir en lo posible ideas y conceptos esenciales de nuestro compañero, empiezo por recoger su confesión de ser un físico *más por devoción que por profesión*, para atestiguar con mi experiencia la rigurosa verdad, no sólo actualmente objetiva, sino histórica, de este rasgo del académico que hoy recibimos y que vino a la vida cuando iba a empezar la primera gran guerra.

La observación de sus reacciones en la Escuela ante las disciplinas en que se va formando en su carrera de Ingeniero Industrial y en su Ampliación de Estudios, persuade de que, aun dotado fortísimamente para el dominio del pensamiento matemático y del gobierno técnico, es sin duda la Física el auténtico norte de su vocación.

¡Con qué inacabable lista de referencias documentales podría yo ilustraros aquí este testimonio y cuántas veces ha confirmado este investigador nato su renuencia al criterio de igualdad de la correspondencia biunívoca de los conjuntos y aun del isomorfismo algebraico, para entregarse a agregar a la noción del vector  $n$ -dimensional de WEYL o a la más amplia de elemento de un espacio  $E_n$  sobre un anillo, cualidades menos abstractas, hasta alcanzar a todo trance los modelos isomorfos de la realidad que hoy ya sólo puede dar la Estadística! Y excusad esta alusión a tecnicismos que consideraría cruel dejar imponerse en la presente solemnidad.

En ella quiero también haceros gracia de una biografía pautada y exhaustiva, como las que oímos en ocasiones llenando estos discursos de contestación; si bien, obligado por la costumbre, no puedo omitir constancia de que este ingeniero número 1 de su promoción—primera que se recibía tras nuestra guerra—fué elegido ya por méritos excepcionales Profesor titular de la cátedra de Electrónica en su Escuela, fundador del Instituto Nacional de Electrónica y Consejero de la Junta de Energía Nuclear, de la que hoy es primer Vicepresidente, mientras en Marconi Española ha venido encarnando el ser científico y técnico de la Empresa, en la que ya lleva años de Director general, no por cierto sin nostalgias mías, que en seguida me permitiré apuntar ante vosotros.

Tampoco puedo dejar de referirme, entre sus libros y publicaciones, a varias que son blasón de la Ingeniería española, como los tomos de los tres Cursos de la Cátedra del Conde de Cartagena de nuestra Academia, dedicados a la Teoría moderna de los campos electromagnéticos, su doctrina sobre *Excitation of electromagnetics Waves*, recogida en el *Journal of Applied Physics*, predilecto certamen mundial de sumidades en Norteamérica; la primera obra sobre Servomecanismos, que apareció en España y prologó TERRADAS, y el tratado de Circuitos de Microondas, que es texto en la Universidad de Buenos Aires.

Intercalados entre ellos tiene numerosos estudios sobre Sensibilidad absoluta de receptores, Cavidades electromagnéticas, Teoría de la emisión termiónica. Los principios de HUYGENS y BABINET, *Transit time effects*, Propagación sobre terreno plano, Teoría de la Radiocomunicación, Curso de Radioelectricidad, Receptor superheterodino, Funciones Bessel, Cálculo de circuitos con f. e. m. periódicas no sinusoidales, El magnetrón de cavidades de resonancia, Teoría matemática del filtrado y de la predicción, Teoría General de Transformadas Integrales, Teoría de la Información, y muchas más que me cuesta sacrificio no especificar porque, aunque numerosas, son todas ellas tan categóricas y de huella tan indeleble, que cuando hube de puntualizar su relación y dejar constancia en la Academia para el expediente de elección de numerario de COLINO pude reconstituirla de memoria sin gran esfuerzo.

Y me atrevo en este punto a referiros un hecho que os anticipa

el carácter del nuevo Académico. En los meses de la elección estaba en Norteamérica con su esposa, acompañando al entonces Director de Energía Nuclear, nuestro compañero numerario don José María OTERO, y el plan de actividad que tenían a través de aquel continente era tan vertiginoso, que fué imposible someter a tiempo al autor la relación de sus obras para su personal comprobación. Cuando a su regreso la conoció, confesó con sencillez que él no hubiese sabido hacerla completa; elogió con reconocimiento mi retentiva y quiso corresponder al viejo maestro, solicitando autorización para copiar y tener ya la lista de sus propios trabajos publicados hasta entonces.

Es decir, que COLINO es devoto, pero alejado del gazofilacio; y ello confirma que, como he apuntado, su figura no requiere ser recibida transcribiendo de un minucioso *curriculum vitae* las calificaciones obtenidas en su carrera, premios ganados después, cátedras desempeñadas, proyectos de aplicación, comisiones y centros a que pertenece, congresos extranjeros en que ha actuado y demás éxitos o lauros siempre aleatorios que, como dijo nuestro compañero y maestro REY PASTOR, cuadran bien para quienes no tengan obra de más sustancia que exhibir.

Y si el nuevo Académico me lo permitiese, cuando ahora esquematizo su personalidad, tan decisiva en la actual Física española, preferiría yo a la contraposición que él ha elegido entre profeso y devoto la que don Ramón MENÉNDEZ PIDAL ha llegado genialmente a establecer entre juglar y trovador. Sabido es que don Ramón ha coronado el portento de descubrir, desde España con asombro del mundo, la naturaleza de la primera canción de gesta que cataliza milenariamente la nacionalidad francesa. Pero años antes de esta sensacional revelación publicó un tratado de *Poesía juglaresca* que es una de las obras en que mejor cabe estudiar el carácter español común a las literaturas románicas, o sea, a los hombres de todas nuestras regiones.

Bien conocéis en esta casa mi afición obsesiva a indagar el «formidable y tenebroso problema de las condiciones del genio español para la investigación científica» que formuló el glorioso MENÉNDEZ Y PELAYO y abandonó entonces con la amargura de confesar que «por más soluciones que discurro no encuentro ninguna que totalmente me satisfaga». Fué este afán el que me llevó a trabajar a fondo el libro de don Ramón que, como la mayor parte de los suyos, aunque pare-

cen de tema extraño a un ingeniero, son muy recomendables a nuestros investigadores científicos españoles, porque realmente su método es todavía más matemático que lógico; y en ellos he aprendido que el sistema solvente en nuestras culturas sólo se configura en el trovador nutrido por tradición de juglares.

Entrar ahora en la prueba de mi tesis aplicada a la obra científica de COLINO, exigiría hacer otro discurso, casi tan interminable como fué el mío de ingreso; pero puedo aseguraros que el estudio detenido del que hemos escuchado, tras ensanchar mi esperanza de que España tenga físicos, evocó en mí un pensamiento de MENÉNDEZ PIDAL cuando al citar a CERVANTES, concluye «que no estaba muy lejos de la verdad Don Quijote al afirmar que *todos o los más caballeros andantes... eran grandes trovadores*».

#### RENUNCIACION Y DOCENCIA

Habéis oído al recipiendario ensalzarme entre otros Académicos como su maestro, y no os ocultó mi sensibilidad a este elogio para mí tan generoso. Desde muy joven puse la investigación a la docencia, persuadido de que en nuestro ambiente si sólo a genios como CAJAL podía ser dado levantar resueltamente el nombre de España por sus descubrimientos científicos, en cambio podíamos todos con la vocación y el entusiasmo contribuir en algo a que nuevas generaciones de discípulos, con dotes naturales que nada envidian a los de otras tierras, llegasen a ir saldando la deuda de honor que desde Alfonso *el Sabio* tenemos con la cultura universal.

Pronto comprobé, además, que esta convicción quedaba amparada por nuestras figuras máximas. REY PASTOR vino a recordar con nobilísima modestia el viejo romance de Bernardo: «Si no vencí reyes moros, engendré quien los venciera.»

Claro es que esto implicaba que el discípulo superase al maestro, y ello en mi enseñanza era bien accesible; pero, además, la doctrina en sí reunía los más elevados títulos, porque el propio CAJAL dijo: «La más pura gloria del maestro consiste no en formar discípulos que le sigan, sino en forjar sabios que le superen», y REY PASTOR continuaba: «Es motivo de satisfacción, porque lo es de esperanza, el ser superado por algún discípulo; porque en su obra revivirá una

porciúncula de nuestro ser. *Vencer* a sus discípulos significa morir ; *ser vencido* por ellos es a la vez revivir y renacer.»

Así, cuando la Academia me favoreció confiándome la recepción de COLINO sentí la alegría de poderle dar testimonio público de gratitud por este renacimiento y ofrecer públicamente a los maestros, en general, un estímulo más de ejemplo afortunado en la vida docente. Pero yo no era sólo deudor al antiguo discípulo por haber elevado mis ideas a cielos más altos, sino porque además de no engreirse, se había producido con una respetuosa condescendencia en su conducta ante mis indicaciones—sin duda, siempre de intención paternal—, que venía a desmentir del todo la definición clásica de *genus irritabile vates*, que atribuye al sabio ser casi siempre impaciente y mal sufrido.

Debo así subrayar que si la Academia puede ufanarse, en cuanto a enfoque científico, de que el nuevo poseedor de la medalla complementa desde ángulo opuesto el que debimos al predecesor, ha de dar a la vez albricias porque, por otro lado, no le va el actual en nada a la zaga en benignidad y tolerante sindéresis, aun careciendo de votos públicos religiosos.

Y tan impresionante es en verdad el nivel de estas virtudes en el nuevo Académico, que creo deber resumir siquiera uno de los relevantes triunfos morales que he presenciado en su carrera.

En salvadora clausura durante nuestra guerra y desprovisto de medios con que experimentar, estudió muy a fondo las aplicaciones de la Estadística a la Economía, encontrando numerosas soluciones matemáticas verdaderamente ejemplares. Al salir de la Escuela ejerció, como él podía hacerlo, la Electrónica ; pero sugestionado por la esperanza de contribuir con su investigación econométrica a levantar el destrozado patrimonio nacional, dividió su actividad entre una empresa industrial y una organización social. Pronto publicó una excelente «Teoría del paro y sus consecuencias para una política económica», aparte otros trabajos de Economía que alternaba con los de Electricidad.

Un día en que vino a hacerme una consulta, le anuncié con pena mi profundo desagrado por su dispersión. Le expresé mi opinión de que su vocación era la Física y de que aun siendo tan auténtica la llamada de la Economía, no dudaba de que la Matemática, tan bien dominada por él, habría de tardar mucho en dar a esta ciencia el rigor



en el progreso que podía aportar a aquélla. Aunque hubiese de cambiar bruscamente de vida, me parecía urgente desterrar el trabajo rotatorio, porque los hombres de mayor genio y laboriosidad no pueden ya hoy alcanzar conocimiento profundo en más de una de estas dos grandes ramas, y harto mejor sería rectificar por sí que aguardar la corrección de los demás. Su concentración le haría posible fundar una cátedra de Física en la que, promoviendo vocaciones y transformándose en jefe de escuela, rindiese a España el fruto de su multiplicación espiritual.

Sin duda su buen juicio se había anticipado al mío; pero su conformidad a la árdua preposteración fué tan cordial y edificante, que al proceder a las amputaciones y cambios para concentrarse del todo en la labor de Física y desgarrarse del resto, creí deber evocarle el recuerdo de la religiosa que ingresó para siempre en el convento de las Esclavas del Sagrado Corazón la mañana siguiente a haber ganado en Biarritz el campeonato internacional de tenis. Y con este espíritu acudimos al Instituto de Ingenieros Civiles para dar ante concurrísimos y docto auditorio una conferencia *tour d'horizon* en la que él expuso, y sobre todo yo glosé amplísimamente, la brillante y positiva labor que tenía cosechada en Economía cuando se había ya resignado a interrumpir su asiduo cultivo de esta ciencia.

Desde aquel día su honesta fidelidad a la Física no ha sufrido un roce, y así ha dado a España hermosos frutos de bendición aun sin haber mantenido el rigor de especialización intelectual que apetecíamos, porque entre tanto el interés conjunto de la empresa en que sirve le reclamó, como he apuntado, para asumir permanentemente la dirección general.

¿Cómo no he de sentir yo desde aquí las nostalgias insinuadas hasta verle de nuevo en la dirección científica cuando quepa descargarle de los grandes esfuerzos de gestión o gobierno en su función actual, que por ineludible impenetrabilidad herirán en el corazón a la ciencia española?

## ACCION CON EL DISCURSO

A la pregunta «¿Qué es la materia?» da el nuevo Académico una respuesta que sitúa en fecha de 1956, o, con más cautela—dice—, en 1955. El forjó, en efecto, su respuesta en 1957; o sea, que hasta el día de hoy hemos dejado transcurrir dos años.

¿Por qué?

En nuestra insigne hermana mayor la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando casi no es excepcional que un recipiendario asocie al discurso la acción. Recuerdo en tiempos próximos el ingreso de S. A. R. el Infante don José Eugenio de BAVIERA, que realzó la exposición de su pensamiento con una deliciosa ilustración musical ejecutada en el piano.

El creciente impacto en la Sociedad de las aplicaciones de la Ciencia Natural hace esperar que también en nuestra Casa acompañen pronto ilustraciones descriptivas o experimentales a los textos de estas gozosas solemnidades consagradas a recibir a los Académicos que vienen a renovarnos.

De ello es precursor el feliz caso de hoy, si bien la acción que COLINO trae unida a su discurso aparecerá aquí únicamente reflejada en mi respuesta por vicisitudes que no ha cabido superar. Solicito ahora vuestra atención, aun debiendo apartarme entre tanto de la glosa del texto, y veréis que gracias a la riqueza de personalidad del recipiendario he de evocar en mi humilde escala al contestar, la hechura tan grata a SHAKESPEARE del desarrollo conjunto de acciones múltiples.

Por lo pronto, hemos debido una valiosa revelación al aplazamiento sufrido: comprobar que la penetración del autor en las más nuevas teorías era tan singular que tras este bienio no ha habido que suplir ni corregir una letra.

Esto sería en nuestra época ya extraordinario; pero impresiona más en los años en que nuestros más grandes físicos, especialmente

HEISENBERG y PAULI—éste, por desgracia, ya fallecido—habían anunciado su mayor esfuerzo para completar la generalización que al morir EINSTEIN pareció tener tan próxima en sus ecuaciones del campo ya unificado con posible derivación de ella del carácter atómico de la energía.

Nada positivo se ha avanzado, en efecto, para superar la pugna entre continuidad y discontinuidad en la estructura topológica de los espacios generales constituídos por los operadores que caracterizan los comportamientos múltiples del núcleo y de las partículas. Escuché en Alemania a los maestros que me honraron con su acogida, y al leer después de nuevo el discurso que yo tenía hacia más de un año, continué seguro de que nada había hasta entonces que alterar en él.

\* \* \*

Pero ¿qué es lo que esencialmente pudo mover a la Academia a este extraño retraso en la lectura no habiendo fuerza mayor que la impidiera?

Satisfacer vuestra lícita curiosidad me obligará, según acabo de anunciaros, a diferir mi comentario del discurso. Y veréis cómo la simultaneidad con que un pueblo heroico estaba intentando por vez primera la colaboración permanente internacional no sólo en un Palacio de Naciones (Ginebra, Nueva York...), sino en un Palacio de la Ciencia Pura que ilumine a todos los hombres sobre la Naturaleza, ha venido a enriquecer la ofrenda que nos aporta el nuevo Académico.

Rindo mi gratitud a la Corporación y a él por haber aprobado mi plan de respuesta y entro en la explicación forzosamente digresiva, pero de enlace con hechos de alcance histórico.

#### INTEGRACION EUROPEA Y CIENCIA PURA

En el año 1956, mientras COLINO trabajaba su discurso, arreciaban sobre mí las honrosas e intensas incitaciones del Profesor ROBERT VAN CAUWENBERGHE, Presidente de la Real Sociedad de Ingenieros e Industriales de Bélgica, autorizadas por aquel Gobierno y por nuestros Ministerios de Asuntos Exteriores y Educación Nacional, para unir alguna acción española a una tentadora empresa científica: la de equilibrar internacionalmente con los esfuerzos hacia la *Ciencia*

*Pura*, la formidable expansión que auguraba para la Ciencia Aplicada la gran reunión de millares de físicos e ingenieros de todo el mundo que en el año anterior nos habíamos congregado en Ginebra precisamente para los usos pacíficos de la energía atómica.

El plan general belga, sólo revelado confidencialmente, iba dirigido a preparar uno de los más trascendentales avances de este siglo: el de la integración de las naciones del viejo continente en una única unidad económica, previo un trabajo en común de todos los países para impulsar la Ciencia Pura.

Ante la enseñanza del Plan Marshall y las subsiguientes fundaciones de la Organización Europea de Cooperación Económica y del Consejo de Europa, las grandes cabezas de aquel dinámico país, dividido lingüística y aun religiosamente, y por fortuna fuerte, como reza su escudo, por la unión, en el amor a la Cultura, a su dinastía reinante y a su territorio, concibieron una grandiosa expansión común, dispuestos al esfuerzo y a la responsabilidad de convertir a Bruselas en la capital de la futura Europa.

Proyectaron con previsión de cerca de diez años una gran Exposición Internacional, que en el año 1958 habría de poner a prueba su capacidad para recibir bien una corriente de visitantes que acreciese la población de la ciudad en proporción sustancial y sostenida, y laboraron intensísimamente por que, entre tanto, la Comunidad Europea del Carbón y el Acero que su país formaba con Alemania, Francia, Holanda, Italia y Luxemburgo, configurase un Mercado Común de rigurosa unión de las seis economías nacionales, para llegar a integrar progresivamente las demás.

La sensacional convención fué ya formalmente iniciada en Mesina en 1955, llegándose a los dos años a un acuerdo de los Gobiernos para suscribir los tratados, que, ratificados a continuación por todos los Parlamentos, habían de ganar vigencia en 1 de enero de 1958 y efectividad al entrar en el año en que estamos.

Pero los autores del Plan, que estaban bien penetrados de cómo abordó el último impulso moderno de unidad europea nuestro Rey y Emperador CARLOS V, nacido en Gante, en tierra belga, concibieron que, aun en nuestro siglo de la Economía, animase a la unión de las voluntades el culto común a la aspiración superior de encimar internacionalmente la *Ciencia Pura* sobre la Aplicada. Concentraron los primeros esfuerzos en cuatro campos: Núcleo, Física del estado sólido, Molécula y Cibernética y Virus en su vertiente físico-química hacia el enlace con la Biología.

Sin embargo, la decisión neta de dar realidad a esta aspiración con sacrificio puede considerarse gran potencia industrial.

ultrarrealistas temían que la investigación científica pura—o sea, sin designio inmediato de rentabilidad—fuese un lujo desproporcionado para un país que no puede considerarse gran potencia industrial.

«Hemos de ser modestos—afirmaban—y no desconocer nuestras dos verdades-claves.

»La primera, que nuestros obreros son sólo excelentes para los productos intermedios y masivos. Dan calidad en el cemento, el acero, los textiles, los abonos químicos, pero no pueden hacer un reloj de precisión o un buen microscopio. Es popular el dicho suizo—decían—de que cuando reciben de Bélgica un tren

de 57 vagones de productos «Semi-brut», lo devuelven llevando sólo unas cajas de relojes y de productos químicos finos. Nuestros intentos de hacer máquinas de precisión textiles en Gante o máquinas de escribir en Lieja no se han logrado.

»La segunda verdad-clave es que nos faltan las dimensiones de mercado para producir con grandes giros y costes modernos y sostener la alta investigación. Conformémonos con investigación aplicada y práctica para mejorar los productos sencillos y huyamos de abordar, por afán de puro prestigio, realizaciones en las que es difícilísimo que podamos competir.»

Frente a esta capitulación intelectual reaccionaba un grupo más numeroso y distinguido, cuyo paladín fué VAN CAUWENBERGHE como ante una blasfemia nacional y casi humana Reconociendo que otros países tienen industrias de precisión superiores, destacaban ejemplos como las fábricas fotográficas de Mortsel, las armas de caza exportadas por la F. N. y los automóviles Herstal, realmente pospuestos en el acuerdo con Norteamérica para dar entrada a los suyos a cambio de exportar tejidos.

«Si no se puede aplicar en Bélgica la regla de Henry FORD, que estimaba en 35 dólares el producto de cada dólar que invertía en investigación, véase—decían—nuestro ejemplo de GEWAERT, que dedica el 6,5 por 100 de su giro íntegro a investigación, con un personal total de 7.000 agentes. Gracias a cuanto un 10 por 100 de ellos investiga, ha alcanzado la firma, rango máximo internacional, y su Gerencia sostiene que ello es atribuído a que muchos de sus sabios no se ocupan más que en Ciencia Pura.

»El Centro de Mol, por otra parte, concentra en Europa la investigación en reactores como el de Ginebra la de altas energías.

»Dése por cierto además—añadían—que a la velocidad con que los países subdesarrollados avanzan para fabricar nuestros productos intermedios, sólo los países de investigación superior contarán con aplicaciones industriales originales dentro de quince o veinte años; y no podremos conservar los salarios altos de este país sino con verdaderos artículos nuevos de los que requieren indispensablemente como materia prima la *substancia gris*.»

Insistía estrictamente el presidente de la Sociedad de Ingenieros en que los autores de los descubrimientos más fecundos, a plazo no largo, serían en esta época los de quienes no se hayan propuesto obtener beneficio con inmediata aplicación.

El plan de VAN CAUWENBERGHE fué el de dar al menos realidad en Bruselas al *Palacio de la Ciencia Pura* con el concurso de los sabios e instituciones de los grandes países; y si el éxito se alcanzaba, confirmarlo levantando en Bélgica el esfuerzo económico que fuese preciso para dar a la obra permanencia y radiación universal. No dudó nunca de que a una utilidad evidente para todos los pueblos se sumase especialmente la que tendría para la economía belga.

## CULTO A LA EXPLORACION NOBLE: LO UNIVERSAL Y LO INTERNACIONAL

Cualquiera que hubiese de ser el sesgo de la proyectada integración europea, este designio de difundir y exaltar el servicio de la Ciencia por la Ciencia, llenaba de fervor a muchos profesores y miembros de Academias de los más diversos países, y por supuesto a mí, en particular, recordándome las invitaciones que otrora llevamos a cabo en el Instituto de Ingenieros Civiles, trayendo a Madrid, con aplauso de todos, a los excelsos EINSTEIN y LORENTZ, a quienes tan ejemplarmente honró esta Real Academia.

Porque es bien explicable ver a las gentes interesadas por la Ciencia sólo en sus aplicaciones. Pero a los sabios les consta auténticamente la extrema rareza de los verdaderos descubrimientos que se hayan conseguido al buscar la probable utilidad potencial que hubieren de traer en la práctica.

Los exploradores—por ejemplo, españoles—que descubrieran tantas tierras nuevas en el Planeta, no estaban dispuestos a detener su avance entreteniéndose en la prospección de minas o en la cría de ganados. Ello les hubiera retrasado gravísimamente y casi siempre frustrado el logro de su gloriosa empresa geográfica.

¿Habría el hidalgo jerezano NÚÑEZ DE BALBOA descubierto en 1513 el más grande de los océanos si en vez de cruzar golfos, vadear ríos, salvar quebradas de los montes y triunfar heroicamente de caciques, se hubiese dedicado a construirse con CARECUA una finca, como doce años antes le había inútilmente inducido a hacer BASTIDA al desembarcar en La Española?

No. Porque supo renunciar a la mejor granja y encerrarse en una pipa para embarcar arriesgando su vida, contra la voluntad de ENCISO, en la carabela en que éste e 1510 se lanzaba a explorar, había de llegar al gofo de Urabá, fundar Santa María la Antigua, dominar el día de San Juan la desembocadura del Atrato, que bautizó con el nombre del Santo, y atracar en Cáreta hasta, en nombre de los Reyes, tomar posesión el día de San Miguel del «mar del Sur» con la espada en una mano y el pendón de Castilla en la otra.

Y lo mismo en la Ciencia.

¿Deberíamos a LAVOISIER la Química si se hubiese dedicado a preparar medicamentos, a FARADAY la inducción electromagnética si hubiese puesto en renta la Royal Institution, o a CAJAL el secreto de la sustancia gris si hubiese abierto clínica de especialista?

Que el técnico saque de los descubrimientos la sustancia que necesite para las aplicaciones prácticas, ha de ser urgente cuidado de la sociedad, con lo que a menudo se secunda además la árdua ascensión de la Ciencia; pero siempre absteniéndose de intentar que quienes han clavado su vista en el firmamento del saber con el puro y noble afán de revelarnos los augustos misterios de la Naturaleza, hayan de interrumpir su misión sublime para bajar la mirada hasta nuestras mudables pequeñeces materiales, que a otros es a quienes debe confiarse atender.

\* \* \*

Sobre esta idea se antepuso en el proyecto de la Exposición de Bruselas el designio de *universal* al concepto de *internacional*. Y si, según éste, construiría cada país su propio pabellón exclusivamente nacional, bajo la responsabilidad de su bandera, juntos, en cambio, habrían de levantar los investigadores de cuantos países participasen un *Palacio de la Ciencia Pura*.

#### CONTRAPUNTO DE CAUSTICIDAD FRIVOLA

Y a tan honrosa incitación para contribuir desde España a la unión y pre-  
cedencia de la Minerva Pura al lado de la Aplicada, se sumaba para mí, una pre-  
ciadísima atracción: la de que fuese de origen académico el impulso del her-  
moso proyecto.

Los hipercríticos, que las Academias tienen en todas partes, recelaban de  
que no se alcanzase allí el dinamismo propio de la nueva obra. Pero no podían  
ser fácilmente escuchados, porque si es cierto que aquella nación aún no ha  
llegado a la alta proporción de figuras consagradas universalmente en Ciencia  
Pura, que ofrece alguna otra, también lo es que no hay institución más pres-  
tigiosa en el país por su eficacia de selección objetiva y su fervor de culto al  
ser histórico nacional.

Es de recordar que la floración académica coincidió en Bélgica con una  
ejemplar forja de la nacionalidad, coronada allí precisamente en el siglo que va  
de la Ilustración al Romanticismo. Después de la obra precursora del Conde de  
COBENZL, la Emperatriz MARÍA TERESA funda la Academia en 1772, y restaurada  
tras NAPOLEÓN por GUILLERMO I como Rey de los Países Bajos, la reorganizará  
LEOPOLDO I ya Rey de los belgas; legando a su hijo LEOPOLDO II la inaugura-  
ción en 1877 del *Palais des Academies*, uno de los mejores edificios del mundo  
destinado a este fin, a la derecha del Palacio Real y con la superior expresión  
de dignidad que corresponde a su función.

Quizá el afán de acribillar aquella noble fachada de dardos irónicos, hacia  
ahora oír allí a menudo el recuerdo de los sesenta años que corrieron desde  
que el fundador RICHELIEU, en 1635, encomendó a la *compagnie* el primer «Dic-  
cionario de la Lengua Francesa» hasta que apareció la primera edición. Se  
añadía que, próximo a morir, el abate de BOIS-ROBERT, consejero literario del  
Cardenal, dió fe de su pesimismo en este *quatrain*:

*Tous ensemble ils ne font rien qui vaille*  
*Voilà six ans que sur l'F on travaille*  
*Et le destin m'aurait fort obligé*  
*S'il m'avait dit: Tu vivras jusqu'en G.*

Y también se citaba el amargo comentario de BALZAC: «*L'Academie, ce lieu  
de deportation: une fois là ils se tiennent tranquilles*»; así como el duro epi-  
grama de LINIERE a CONRART, que había sido el primer secretario:

*Conrart, comment as tu pu faire  
Pour acquerir tant de renom  
Toi qui n'as pauvre secrétaire  
Jamais imprimé que ton nom?*

Pero la crítica más sangrienta contra los académicos se estaba concentrando en comparar sus publicaciones anteriores y siguientes al *ingreso* y sobre todo en el contraste entre el valor de su discurso de recepción y el de los que siguen: «*Le fait d'être «arrivés»—puntualizaba—prive ces élus de l'aiguillon qu'est la soif de la célébrité, éperon du labeur, aphrodisiaque de l'effort...*», y agregaban como síntesis: «*Pourquoi souffrir encore, ne suis, je pas au faite?*»

Ciertamente, tales ataques vienen siendo universales y rara vez fundados. Este reproche se le ha hecho en nuestro país hasta a CAJAL, cuyo obra es relativa y absolutamente inigualable. Y ocurre argüir: pero ¿no ha de ser obvio que quien se ve consagrado por la elección de la Academia, haga su esfuerzo máximo para presentarse ante ella, y que siendo además pública la recepción, desarrolle cortésmente un tema de interés general para la sociedad, en vez de dirigirse sólo a los especialistas? Así habían de ser, en verdad, las «Reglas y consejos» que CAJAL leyó en esta Casa al ingresar, una de sus obras más difundidas.

¿Y por qué obstinarse en ignorar la superior firmeza de unas normas que no dejan investir, en general, a los sabios por lo que proféticamente se espera de ellos, sino por lo que positivamente lleven ya creado cuando son elegidos después de alcanzar el apogeo de su carrera?

Por fortuna, no pudieron aquellas frívolas causticidades enfriar el fervor general frente a la obra anhelada para los años inmediatos.

## DINAMISMO DE ESPIRITU ACADEMICO

En la primavera de 1957 se constituyó en el medio puramente belga una Comisión Nacional de Ciencias, presidida por el Rey LEOPOLDO, y en el internacional, el Consejo del que era presidente el Profesor VAN CAUWENBERGHE y secretario Jacques SOLVAY, con un vocal por cada uno de los 15 países que entre los 50 participantes en la Exposición habíamos de dar cima al Palacio de la Ciencia Pura.

El 25 de marzo se firmaba ya en Roma el Mercado Común; en 1958 se había de inaugurar con la Exposición este Palacio; se ofrecería a continuación generosamente Bruselas como sede del conjunto de las instituciones europeas (Mercado Común, Euratom, C. E. C. A.), sucediendo posiblemente en Heysel a la Gran Exposición, un distrito con extraterritorialidad, como el de Washington (D.C.)

La fe en la eficacia de las nuevas instituciones hacía considerarlas como heraldos de una segunda Revolución Industrial de alcance social incomparable con el de la primera. El Mercado Común había de estimular inmediatamente la evolución de los países desheredados del mundo, disipando las tensiones entre naciones ricas y pobres hasta el abrazo de las tierras que llamaba DELAISI del



caballo de vapor y del caballo de sangre. Y en prueba de que esto no era delirante fanatismo europeo, se aducía que ya las compras de materias primeras a los países subdesarrollados de los seis primeros componentes del Mercado Común decuplicaban las del bloque chino-soviético, y que las inversiones de Francia, sólo en Africa, rebasaban los préstamos de la U. R. S. S. al mundo entero.

Para preparar, entre tanto, la sede se impulsarían y acelerarían decisivas reformas urbanas en la capital hasta inaugurar la Biblioteca Albertina y el gran complejo del Mont des Arts en 1959, al cumplirse los veinticinco años de la muerte del Rey ALBERTO.

No ofrecía, desde luego, duda la feliz realización del gran Atomium y de toda la Exposición. Más problemática podía parecer la prevista elección de capitalidad. Pero donde un entusiasmo edificante desbordaba todas las medidas era precisamente en el *Palais des Academies* en que nos encontrábamos los proyectos. ¿Cómo consentir—se decía—que dejase de coronar la gran coyuntura histórica el *Palacio de la Ciencia Pura*, cuando es ELLA el indiscutible *Deus ex machina* de la nueva manumisión humana?

Premios Nóbel como STAUDINGER, sir Lawrence BRAGG, alma de la Royal Institution; KURSANOV, de la Academia de Ciencias de la U. R. S. S.; WEISS, del Rockefeller, y otros más, secundados con ilusión por los restantes, laboraban no sólo dispuestos a los mayores sacrificios hasta hacer del *Palacio* y sus instalaciones el rostro al día de la Ciencia, sino decididos además a mantener durante 1958, en las cuatro divisiones temáticas aludidas, *Atomo*, *Cristal*, *Molécula* y *Célula*, abundantes grupos de investigadores políglotas para ofrecer experimentos y escoltar a todas las personalidades de conocimiento específico que hubieran de ser recibidas; y más numerosos equipos de demostradores jóvenes, ya en posesión de título superior, que ilustrasen detenidamente a cuantos visitantes en general acudieran desde los cinco continentes.

## FISICA Y BIOLOGIA

Natural era que cada vez que yo regresaba de aquellas sesiones de trabajo en Bruselas, me encontrase como, según el cronista SANDOVAL, se sentían en nuestro gran siglo los soldados después de oír al Rey, quien «con sus palabras les había puesto mil corazones».

Venía acariciando la ambición de asociar a la obra a nuestra Academia, y en ella me inspiraba cuando recabé la recomendación de que los trabajos aportados fuesen los de la Escuela que en cada país hubiese alcanzado mayor reconocimiento internacional. Aquí contábamos nada menos que con la de CAJAL, y no dudaba de que nuestro numerario Prof. SANZ IBÁÑEZ podría hacer aportaciones como su «Regeneración en la placa motriz bajo el polio», y probablemente el eminente Prof. CASTRO, de la Facultad de Medicina de Madrid, su «Función perceptora del corpúsculo carotídeo».

Recordaba siempre, además, que los mayores descubrimientos de aquel genio de la Histología del siglo XIX fueron debidos, según sus lecciones, al conocimiento de la Física y de la Química, que él gustaba de denominar con la ex-

presión de LETAMEDI: «el estado actual de *nuestros conocimientos industriales*». Y el descubrimiento más grandioso y general de CAJAL, base de toda la exploración científica del sistema nervioso, fué ya esencialmente físico, puesto que al negar las supuestas redes de GERLACH y GOLGI, de la sustancia gris, dejó establecida definitivamente la comunicación eléctrica sin contacto entre células y axones.

Los físicos que por culto a aquel genio nos habíamos dedicado a estudiar su gloriosa obra, que explica por la neurona la conexión entre los miles de millones de células del cerebro humano, llegamos a encontrar en su doctrina, inconfundibles anticipaciones cibernéticas. De ellas se infería una teoría de la información, sin duda prematemática, pero sin duda también de firmísima base para la poderosa intuición de nuestro incomparable sabio; y yo me sentía más seguro en ella, después de mis consultas a WIENER, cuando accediendo al ruego de venir a Madrid nos dedicó su inolvidable exposición aquí en la Academia, entre otros centros, y aun siendo él sobre todo matemático, insistió reiteradamente en el enlace entre Física y Biología.

#### *Bruselas*

En la urgencia de este enlace convinimos también en el Consejo del Palacio de la Ciencia Pura al comprobar unánimemente la enorme laguna—quizá océano—que hasta ahora queda entre las más complejas de las *moléculas* y la *célula* más sencilla, unidad común de todas las formas de la vida.

El inmenso progreso que en el estudio de los virus había de ofrecer el Palacio, no dejaba entrever el secreto del paso de la vida potencial a la vida efectiva que aparece cuando el virus encuentra células capaces de alojarlo. La molécula núcleo-proteica a la que se reducen los virus más simples, constituye ya un enorme edificio de arquitectura singularmente compleja. La masa molecular, por ejemplo, del agente del mosaico del tabaco—prototipo de invisibilidad al microscopio y de filtrabilidad, revelable en el microscopio electrónico por cristalización y redisolución en bastoncitos de 300 milimicras—es de unos 40 millones, siendo siempre 1 la del átomo de hidrógeno; y todo el nuevo desarrollo que en su investigación y en el de la estructura de los ácidos nucleicos y de los virus cristalizables había de aportarse a Bruselas, resultaba principalmente de la aplicación del método de análisis de BRAGG basado en la difracción de los rayos X. Análogamente, la fotosíntesis de la vida vegetal es un capítulo de las radiaciones por selección de longitudes de onda.

En suma, que allí convinimos en que es cada día más la Física, ayudada por la Química, la verdadera ciencia de acceso hacia la explicación de la Vida.

#### *Madrid*

Resuelto así a no cejar en una aportación física en la Escuela de CAJAL, y amparado de la Academia, sólo me inquietaba la incógnita de la financiación en el Palacio. Ciertamente que el Maestro había insistido siempre en que «*para la obra científica los medios son casi nada y el hombre lo es casi todo*», y que no cesó de exhortar aun a los caracteres corrientes y a los talentos regulares al

noble orgullo de triunfar con pobres medios como timbre de elegancia y de sobriedad, porque si no hay escasez de voluntad, el entusiasmo y la perseverancia hacen milagros. Pero ¿con qué dotaciones habría de mantener la Academia los equipos abundantes de investigadores y de demostradores en el Palacio, en la coyuntura de altos precios de la Exposición?

Nuestro Gobierno había ya aceptado anteriormente levantar un pabellón de España entre los de la Sección Internacional, y había creado a este fin una Comisión Interministerial. La fineza de hacerme vocal nato de esta Comisión me permitió advertir los problemas y los elevados sacrificios económicos que tal obra había planteado. Conociendo el patriotismo y el tacto de la Academia, no concebía que acuciase a las autoridades en preces de grandes subsidios, a conciencia del trance económico en que compromisos ya formales obligaban en Bruselas a nuestro país.

¿Tendríamos que desistir de contarnos, aun humildemente, entre las quince naciones artífices del *Palacio de la Ciencia Pura*, a pesar de sernos tan propicias sin excepción?

\* \* \*

Entre tanto, y tras entregarme a febril actuosidad, vino un día en Madrid COLINO—a quien en dos años me había abstenido de distraer—a traerme este discurso que ya había terminado.

Quienes lo habéis oído, ¿os sorprenderéis de que, al acabar de leerlo, mi ánimo para la obra de la Ciencia Pura tuviese su temple reforzado?

Este trabajo fundamental sobre la Física de hoy, coronado en los últimos capítulos, precisamente por la interpretación de la Materia viva, me descubría nuestra feliz coincidencia sin haber tenido en tanto tiempo contacto alguno, y podía ensanchar el horizonte de la aportación española desde el ángulo de esta Ciencia y hacernos disculpar de estrecheces instrumentales de presupuesto. Decidí informarle y consultarle, y no vacilé en ofrecer en el acto con preferencia sus exiguas posibilidades de tiempo a la obra para el Palacio; y al enterarse de las mordacidades contra nuestras instituciones, se holgó en ser voluntario para haber diferido su acceso—si así lo aprobaba la Academia—por afrontar una nueva obra, no obstante haberse visto ya *au faite* con su discurso de ingreso entregado.

¿Exageraba al anunciaros más atrás que las virtudes de carácter del nuevo académico no ceden a las de su predecesor?

Bien lo veis acreditado con sus actos desde antes de haberse incorporado a esta casa.

\* \* \*

Nuestra solución no había podido eludir, sin embargo, el escollo de que las obligaciones de COLINO en su empresa aquí no le habían de permitir su presencia reiterada en Bruselas.

Ello era sensible, porque aunque pudiese ser yo quien se constituyese allí, quedaba la estructura trastrocada, puesto que es él en la fuerza de la edad quien

mejor podía asumir ya en obra la acción directa, retrayéndome yo a una reserva. Pero como ingenieros, no dudamos en servir así a nuestro país, aun debiendo *aserrar con el martillo y clavar los clavos con la sierra*.

Fué obvio que en la aportación de España al Palacio dominó la voluntad al mecanismo. El conjunto de los quince países invirtió en instalación 1.500 millones de francos belgas: la Academia de Madrid, tres cienmilésimas de esta cifra. Veremos que al fin hubiese sido deseable generalizar en lo posible nuestro modelo de sobriedad económica.

## EPIFANIA

El 17 de abril de 1958, después de asistir a la solemnísimas inauguración general de la Exposición en el Gran Auditorium de Bruselas por S. M. el Rey de los belgas, me cupo el honor de recibirle al pie de nuestra instalación cuando inauguró a continuación en la zona universal el *Palacio de la Ciencia Pura*. No parece que había sido viable concertar el proyectado Palacio del Arte que confuyese el *Clásico* y el *Moderno*, ni pudieron abrirse hasta días después en la zona internacional varios pabellones, entre ellos el nuestro.

Pero en el Palacio de la Ciencia no cupo aspirar para nuestro aporte a mejores auspicios. El nombre de CAJAL es cada vez más epónimo de los descubrimientos modernos que abrieron la ciencia de este siglo, y la diversidad de nacionalidades de quienes se entregaron ya en aquel primer día a estudiar las derivaciones de la doctrina del sabio español fué impresionante.

Una nueva muestra de respeto para él, iniciada por el Prof. VAN CAUWENBERGHE, dió más realce a nuestra modesta presentación de microfotografías que aquí reproduzco.

En la misma división «Célula», con el número 6-12, bastante alejado del nuestro, 6-28, presentaban dos eminentes profesores de la Academia de Ciencias de la U. R. S. S. modelos animados del mecanismo de la visión. El Prof. T. FRANK, del Instituto de Bioquímica, mostraba un cambio de vivísimo interés en el nervio excitado con alteración de las propiedades ópticas según la estructura submicroscópica del axoplasma; y el Prof. NUBERG, del Instituto de Biofísica, ofrecía un dispositivo de trazado de las curvas de sensibilidad espectral de diversos órganos del ojo por la medida del potencial bioeléctrico del nervio visual.

En el montaje final se dispuso que una y otra de estas dos instalaciones quedasen dando frente a la nuestra, como delicado homenaje rendido a CAJAL, verdadero descubridor universal de la dinámica de la retina en mamíferos, aves e insectos. La pulcra unión de los dos países extremos en el subcontinente europeo, que el puro culto al genio hizo así surgir inopinadamente en el Palacio de la Ciencia, predispuso la simpatía de los visitantes de mayor preparación, que en los seis meses no serían menos de medio millón, entre los cuatro millones que en total visitaron el Palacio (\*).

He de dejar consignado, en resumen, que aparte el elogio de los histólogos

(\*) Los contadores de acceso a la Exposición marcaron un total de más de 42 millones.

para los Profesores CASTRO y SANZ IBÁÑEZ, fué sobre todo a físicos y matemáticos a quienes más retuvo la virtualidad reveladora de los principios generales cajalianos descubiertos en la corteza cerebral, que COLINO y yo aplicamos a los sistemas de transistores de contigüidad diversificada con núcleos en varios estados diferentes; y que de muy alto interés resultó también, en numerosísimas demostraciones, llegar a esquemas de potencia de análisis de estructuras de información cada vez más complejas, por la interpretación de las transformaciones espacio-temporales como función generatriz de una distribución estadística.

## HACIA EL PALACIO PERMANENTE DE LA CIENCIA PURA

Sin el luto que cayó sobre el mundo el 9 de octubre, al morir en Castelgandolfo Su Santidad el Papa Pío XII, me atrevería a decir que el final de la Exposición habría ofrecido a la aportación española en el Palacio de la Ciencia su Domingo de Ramos. El resplandor de la obra de CAJAL, las chispas recogidas de su casi intemporal llama y creo que el tesón de nuestros modestos esfuerzos, enervorizaron al presidente VAN CAUWENBERGHE, que ya en septiembre me había confiado su esperanza de hacer subsistir el Palacio en situación definitiva a pesar de todo.

Los acontecimientos no habían sido, en verdad, propicios entre tanto para Bélgica. El cambio político del 13 de mayo en Francia, que había de transformar en quinta su cuarta República, llenaría de incógnitas el proceso de la próxima integración europea. La crisis de gobierno de Bélgica reveló puntos débiles de su propia estructura económica, principalmente en sus hulleras de costes marginales, sus ferrocarriles y su seguro de enfermedad, con posibles repercusiones en su gigantesca empresa africana en el Congo y Ruanda-Urundi. Finalmente, las costosísimas instalaciones científicas aportadas por los países más fuertes habían sido hechas con propósito de recuperación por sus laboratorios de origen, y el presupuesto para reproducirlas después de la Exposición alcanzaba cifras superiores a las mismas de primera aportación.

Contra viento y marea se dirigió el presidente (\*) a las Delegaciones de los quince países, y las respuestas fueron alentadoras, aunque subrayando en general el interrogante de la financiación.

Las principales científicas económicas y políticas del país, encabezadas por la familia real, los presidentes de las Cámaras y los ministros, se entregaron pública y ejemplarmente a levantar la conciencia de su pueblo para llevar a cabo la noble empresa. Parecía que los recelosos ultrarrealistas se habían unido ya a VAN CAUWENBERGHE en su fe en la Ciencia Pura.

El propio día de la muerte del Papa había anunciado su presencia S. M. la Reina ISABEL con propósito de consagrar el día entero al Palacio. La noticia del fallecimiento hizo aplazar la visita, en la que, en efecto, tuvimos el honor de atenderla todo el día siguiente, atraída por el esfuerzo de los sabios. Se mostraba aun así hondamente impresionada por el duelo de la víspera, ante la pérdida

(\*) El 17 de septiembre.



Reproducciones micrográficas nuestras que quedaron fronteras a los modelos del mecanismo de la visión, dispuestos en honor de CAJAL

del glorioso Pontífice, del que había hecho emocionante y ostensible manifestación la totalidad de los pabellones nacionales, es decir, no sólo los de países de cultura cristiana, sino también los de tradición menos conforme con ella, como Marruecos, Israel, Japón y la propia U. R. S. S.

Hasta el día de la clausura del Palacio reiteraron sus visitas los Reyes BALDUINO y LEOPOLDO, los Príncipes y las demás personalidades de mayor poder y representación.

Ya en noviembre se creaba un *Ministère des Affaires Culturelles* para promover la política científica.

Cuando cerró su referencia el Anuario de nuestra Academia, todavía se esperaba, en una u otra forma, no dejar apagarse aquella ingente obra en cuya etapa fundacional de 1956 a 1958 tan denodadamente había conseguido España honrosa posición en la ofrenda a la Ciencia Pura. El Gobierno EYSKENS no había publicado todavía el nuevo presupuesto general del país, que en miles de millones de francos alcanzaba por vez primera la cifra de 125, con un déficit mínimo de 22, a pesar de drásticas reducciones, como la de la subvención a los ferrocarriles en 250 millones, otro tanto al trigo indígena, 500 en la de las Huelleras y 2.053 en las de asistencias sociales.

## TRAGEDIA

Estas cifras, publicadas al empezar enero, casi a la vez que el Gobierno de la esforzada nación debió hacer la declaración sobre la independencia del Congo, eran conocidas de las altas personalidades belgas. Haciendo frente al momento, aún había ido el Rey BALDUINO, en diciembre, al Ravenstein para presidir la presentación del «Bilan intellectuel de l'Exposition», y allí, como punto de partida, se hizo la entusiasta exégesis del propio discurso del Rey en la inauguración del 17 de abril.

Al rendir a S. M. homenaje, el presidente VAN CAUWENBERGHE anunció que tras aquella primera conferencia seguiría una serie todavía indeterminada. Sabíamos que estaba resuelto heroicamente a no cejar aunque hubiese que ampararse de la escuela de sobriedad española, ya que las impresiones económicas eran tan adversas (\*).

El presidente había obtenido entre tanto del Rey LEOPOLDO el aplazamiento del informe al Gobierno de la Comisión Nacional de las Ciencias, y al siguiente día de la conferencia se entregaba ya a preparar la segunda. Realmente, mientras VAN CAUWENBERGHE pronunciaba su discurso, nos parecía fatigado aunque radiante de entusiasmo.

La solemnidad fué en un miércoles, como nuestras sesiones, y ya no hubo otra conferencia, porque el servidor, entregado al empeño de hacer permanente el Palacio de la Ciencia Pura sin solución de continuidad, aun en medio de la

---

(\*) La misma SABENA, Compañía de líneas aéreas belgas, que venía manteniendo buenos coeficientes de explotación, iba a cerrar el ejercicio 1958 con más de 100 millones de déficit, no obstante la afluencia a la Exposición.

resaca económica (\*), vino a fenecer súbitamente al terminar aquella misma semana. Dios le había llamado a su seno.

No dudaréis del dolor con que nos hemos conmovido todos en esta Academia ante la tragedia y con qué reverencia hemos hecho que exorne las páginas que escribo la noble efigie del perflúcido presidente del Palacio, Profesor Robert VAN CAUWENBERGHE, prez de Flandes y del mundo civilizado.

¡Que la elevación del espíritu y el calor vernal de los corazones de cuantos le conocimos y admiramos escolte su ascensión a la vida más alta y pura!

## ENTEREZA NACIONAL

La infausta e inesperada pérdida del paladín en el trance había de traer un tornamiento que siendo inevitable iba a hacer resaltar la gallarda entereza de la nación belga para servir serenamente sus ideales con obras todavía de mayor alcance, aunque de desarrollo menos inminente.

El Rey LEOPOLDO clausuró en el *Palais des Academies*, ya en este año, la obra de la Comisión Nacional de las Ciencias y confió al Gobierno la incorporación a su política del principio de que «*La recherche scientifique est une activité de priorité*».

El Rey BALDUINO acaba de sancionar el 5 de mayo de 1959 la nueva política científica en solemnísimas sesión también en el *Palais des Academies*, después de que el primer ministro M. EYSKENS, el gobernador del Banco de Emisión M. ANSIAUX y el Rector Magnífico de la Universidad de Lovaina, Mgr. VAN WAERYENBERG, expusieron sucesivamente el plan de creación del Consejo Nacional de la Enseñanza Superior y la Investigación Científica. Es ejemplar la unión de todas las fuerzas intelectuales políticas y económicas del país para el nuevo impulso a la investigación pura y a la aplicada (\*\*). Se procederá a un «empréstito patriótico» de 3.000 millones, amortizable en treinta años y liberable por décimas partes en diez. El progreso en la inversión va así a ser grande, aunque quizá a ritmo moderado.

Con edificante sinceridad ha hecho constar el propio Soberano que «*ces décisions courageuses au moment même où la conjoncture moins favorable retrecit nos moyens méritent notre hommage et notre confiance*»; pero aun en esa coyuntura subsiste el ímpetu belga hacia las obras supranacionales, y es bien explicable el entusiasmo con que cuando en el Congreso de Estados Unidos ha dirigido pocos días después a BALDUINO I un saludo a aquel país para recordar que veinte años de paz son necesarios para formar un hombre y veinte segundos de guerra bastan

(\*) Expresa el espíritu de sacrificio con que Bélgica ha planteado y sostenido su empresa de interés universal, el aumento de su Deuda Pública precisamente en los siete últimos años, que ha exigido elevar la carga por intereses y anualidades desde 4 hasta 12.000 millones de francos.

(\*\*) Subraya el mérito de Bélgica en la impulsión de la Ciencia Pura el hecho de que el número de patentes registradas anualmente por sus empresas industriales no corresponde a la población del país.





† Robert VAN CAUWENBERGHE

para destruirlo», haya sido interrumpido por ovaciones doce veces en los diez minutos que duró su discurso.

\* \* \*

Se ha impuesto por el momento la renuncia a levantar el Palacio de la Ciencia Pura, pero la nación ha acreditado en la coyuntura adversa un envidiable espíritu diacrítico.

Una vez más recordamos a CAJAL cuando decía que en la Ciencia «el hombre es casi todo y los medios materiales casi nada». Llegarán a abundar los medios para la Ciencia, pero... falta el hombre cuyo postrer pensamiento, quizá dedicado a la obra adorada y acaso el más luminoso de los que a ella consagró, ignoraremos siempre. Desde aquí hemos de resignarnos, quienes «forzadamente la secundamos, a presentarnos hoy sin traer a conocimiento de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, de Madrid, la definitiva arboladura, que ha quedado pospuesta, ya que no frustrada, al desaparecer el capitán en la borrasca.

Le traemos, en cambio, un cordial tributo de aprecio y reconocimiento de los sabios y del Poder Público de aquella tierra, donde la interpretación del pasado había hecho a veces recelar de la nuestra en recuerdo de discutibles severidades del Duque de ALBA.

\* \* \*

Debemos proclamar en homenaje a Bélgica, autora de la noble y fecunda iniciativa de unir a los pueblos en su esfuerzo por la Ciencia Pura, que la indiferencia de la Europa concertada frente a la nación que con más riesgo abrió el camino a la unidad, ha parecido rebasar los pronósticos más sombríos.

A pesar de los tratados, no se ha dado lugar por el Consejo de Ministros europeos en Estrasburgo al pronunciamiento de la «Alta Autoridad» supranacional—creada para atajar las injusticias por injerencia económica—sobre la existencia de crisis, pese a que en enero se encontraban siete millones de toneladas en plaza de minas belgas contra tres millones en 1958; las entradas de carbón alemán y holandés aumentan en más de 200 por 100, y la desocupación obrera en abril ha rebasado la de todo el año anterior (\*). Entre tanto, ha debido sacrificar en algunas cuencas su producción respecto a la de anteguerra en más de un 40 por 100, como en el Borinage, y los tipos de penalización por mantener la producción son alarmantes, mientras parecen subsistir los órganos de monopolio o las políticas de intensificación a uno y otro lado del Rhin.

Cierto que todo se imputa a la desconcertante situación de que sea en Ham-

---

(\*) Las últimas cifras parecerían deber justificar otra actitud. La reducción de demanda del carbón en los cuatro meses de este año ha excedido del 30 por 100 respecto a 1958. La producción ha disminuído en Bélgica en 25 por 100, y en el Conjunto de la Comunidad, 6,8 por 100; Coto, que tenía beneficios normales de 10 millones de francos, ha caído a pérdida de más de un millón, y con otra de 24 millones ha debido cerrar balance una sociedad de nitrógeno, y con más de 200 una sociedad hullera importante.

burgo más barato el carbón de América que el del Ruhr; a la vez que el cargo «Prius Johan Willem Friso» ha inaugurado la nueva vía marítima de San Lorenzo en travesía de cuatro días y medio de Montreal a Chicago; pero desde nuestro punto de observación exterior a la zona del Mercado Común, no entendemos bien esta actitud ante el país que en estos cuatro meses ha empezado a sufrir con admirable estoicismo la ingratitude de Africa, donde tanta obra le debe nuestra civilización. Allí está, además, superando su ejemplaridad al conceder a aquellos impacientes poderes de emancipación millares de millones de francos para prevenir no sólo los estragos de su abandono prematuro de la soberanía metropolitana, sino acaso también la voladura del polvorín mundial.

Parecían hacer esperar rectificación europea próxima los solemnes festejos en Estrasburgo del décimo aniversario del Consejo de Europa, que el presidente de la Asamblea trata de fundir con la Organización Europea de Cooperación Económica, a la vez que plantea su «droit de regard» en las demás organizaciones europeas intergubernamentales. Pero, la actitud del primer Ministro francés en la reciente fiesta celebrada el 14 de mayo, vuelve a ser desconcertante. No sólo ha rechazado Francia, unida a Alemania e Italia, la propuesta de los otros tres países para que actuase la Alta Autoridad, sino que ha insistido en su oposición a todo acto supranacional, porque la responsabilidad del poder político no es compartible más que bajo la *regla de oro* de la ley de la mayoría, y para cada gobierno, ante sus electores.

Es decir, que cuando los Parlamentos aprobaron los artículos 58 y 93 del tratado que preveían el arbitraje, no habrían tenido capacidad jurídica para llegar a establecerlo.

Más que para Bélgica—nación que ha sabido hacer de la región europea más poblada, el ejemplo de país próspero y estable—es grave esta doctrina para cuantos creen en el Mercado Común; porque si no hay un poder dirimente y no se recurre a que el Papa imponga hoy su Autoridad a las Naciones, como en el siglo xv, las discrepancias irreductibles podrían llegar a parar en motivos de guerra.

No es además de olvidar que cumplidos los retoques estructurales en la economía belga, su solidez será muy firme, puesto que las fuertes tensiones actuales se deben sobre todo a que se está poniendo en visible retroceso la idea de la Europa unida precisamente en los primeros meses de vigencia del Mercado Común.

\* \* \*

¿Y qué reservará el porvenir al Palacio de la Ciencia Pura?

Pensando desde la Academia el día en que recibe a COLINO afirmamos que los fervientes de la oración nos elevaremos hacia el alma del fundador malogrado, y cuando de nuevo acudan a nuestra Institución quienes aspiren a dar por fin vida al hermoso empeño de VAN CAUWENBERGHE, tendrán aquí a honor, sobre todos los jóvenes, revivir el servicio de templarios del Palacio, que ha asumido nuestra Corporación en 1958.

## LA DOCTRINA Y SU GLOSA

El reflejo de la ardua acción cumplida en Bruselas se ha llevado el tiempo que me podiais ahora conceder, y parece privarme ya de toda posibilidad de glosar la doctrina del discurso escrito por COLINO. Y digo parece, porque aunque no hubiese nombrado al *Palacio de la Ciencia Pura*, rica efemérides de la moderna historia que queda ligada al beneficiario, no habría cabido aquí glosa del discurso, porque para ello tendría que escribir un libro. Tal es la densidad de los problemas tratados por el nuevo Académico; y si los desarrolla como es de desear que haga, y a ello le invito hoy, podría convertirse lo que nos ha leído en un tratado de alto vuelo, modelo de la actual literatura científica. Porque este discurso, por sí solo, y tenga esta honra nuestro compañero, basta para poner a España internacionalmente en el supremo plano de la doctrina física.

Pero algo debo comentar aún muy sintéticamente sobre la labor de esta Memoria dedicada por COLINO a nuestra Academia, que desde hoy es la suya. Y bien empaña mi alegría al dirigirme a él, la ausencia definitiva del insigne maestro, que fué nuestro Presidente, don Blas CABRERA, cuya autoridad habría sido más adecuada para acoger este pensamiento físico que se nos aporta.

El autor ha escrito y ha debido escribir un texto que es eminentemente técnico, severo y profundo, si bien, sin duda, de exposición muy clara, y nos ha ofrecido el germen de un gran libro redactado para los académicos y los sabios extranjeros; pero investido yo ahora de la alta representación de esta casa, tengo por mi parte la obligación de hacer los honores a todas las personas que hemos invitado, ciñéndome a un lenguaje que reduzca, en lo posible, el esfuerzo que les pidamos para desentrañar nuestros tecnicismos.

Que en una parte de la sesión prevalezca el rigor de nuestras construcciones teóricas y experimentales es edificante; pero en el resto tenemos el deber con los cultos profanos de sacrificar el rigor para

mostrar ante sus ojos imágenes que se adelanten sobre los misteriosos velos que forzosamente envuelven el sacerdocio científico.

\* \* \*

Empieza el autor por describir la aportación de las teorías cuánticas al conocimiento de la materia, y al abordar también la teoría del campo unificado y comprobar que ambas fuentes de conocimiento son hasta ahora irreconciliables, sin puente que las una, se pronuncia resueltamente por la interpretación microfísica de la Realidad Material.

Resumamos en el lenguaje más llano esta importante conclusión, que es harto categórica, si bien muy luminosa para captar dentro de la ciencia actual una idea esencial de la materia, sin duda fascinadora. La verdad nueva sobre ella nos la darán los *aceleradores* o rompe-átomos (construidos en Estados Unidos, Unión Soviética o Europa Occidental) que han alumbrado la *Física de las Partículas*. De esta verdad es de la que hoy se espera la noción fundamental de la armonía en el orden natural inorgánico.

Porque si el concepto clásico hasta el fin del siglo XIX era el de que la materia estaba compuesta de átomos, y éstos son insecables, los progresos experimentales al empezar el siglo nuestro, probaron que el átomo era fragmentable y desintegrable. La sustracción de un electrón fué el primero y mínimo ataque a su integridad; y pronto se vió que los electrones son muchos en cada átomo, y que son ellos los que en él determinan su comportamiento químico y el color de la luz que emite o absorbe.

Las radiaciones de materias radioactivas siguieron como productos de la desintegración, gracias a los cuales se logró el gran descubrimiento del núcleo, que con un tamaño cien mil veces menor que el del átomo, tiene concentrada en él casi toda la masa de éste. Aparece en el núcleo el protón con cargas positivas opuestas a las de los electrones, una en el hidrógeno, dos en el helio, etc., creciendo así con el peso en cada uno del centenar largo de elementos descubiertos.

Puesto que la gravitación parecía regir el Universo se intentó durante muchos años explicar por las leyes de NEWTON las fuerzas entre estas dos primeras partículas, y se llegó a descubrir la verdad

revolucionaria de que el electrón no puede ser definido más que por partículas y ondulaciones: algunas ondulaciones corresponden a una partícula situada en un punto, otras dan la velocidad de ella y ninguna puede determinar a la vez posición y velocidad.

Va así a ser sustituido el determinismo newtoniano por las leyes estadísticas que concuerden los aspectos ondulatorios y particulares de toda la materia. Ya no se puede predecir la certeza, sino la probabilidad, y con ello surge la teoría del quantum del átomo.

Pero no sólo había probado la ciencia que los átomos son desintegrables, sino que también han venido a demostrar que lo son sus núcleos, si bien al lanzar los protones por un acelerador y observar las partículas que surgen del choque, se comprueba que los protones y neutrones que forman el núcleo están ligados por fuerzas de mayor complejidad que las de los electrones.

¿Podríamos ya decir que la materia está constituida por estas tres partículas, neutrones, protones y electrones?

No lo consiente el nuevo descubrimiento de que ninguna de las tres es permanente, y en ciertas condiciones cada una puede desaparecer o aparecer, y también trasmutarse, dando de sí otras partículas generalmente más inestables.

La gran revelación entrada en seguida en juego es la intercambiabilidad entre masa y energía. Dando energía podremos materializar las partículas e, inversamente, quedará a nuestro alcance transformarlas a ellas en energía.

Esta adquisición es muy firme. El quantum de luz es una partícula creada cuando el átomo tiene bastante energía para irradiar. Al atravesar los rayos X la materia producen el electrón y su gemelo cargado positivamente, que es el positón, dualismo que examina COLLINO de mano maestra en su tercer capítulo, *Materia y Antimateria*. En general, hay creación de partículas cuando el núcleo tiene más energía de la que corresponde a la masa de las ya creadas según la fórmula de EINSTEIN, que iguala la energía con el producto de la masa por el cuadrado de la velocidad de la luz.

Las partículas con carga eléctrica van escoltadas por otras idénticas, pero con carga de signo contrario. Y es el grupo de todas estas partículas el que ofrece una solución empírica al sistema de la materia, que estaría así compuesta por elementos *impermanentes*. Por ello

subraya el autor la alarmante tendencia de todas las partículas a la metamorfosis. Y es aquí, en sus nuevas ideas expuestas en su *Meso-dinámica cuántica* y en su *Metamorfosis de las partículas*, donde el poder generalizador de su mente física alcanza las concepciones de mayor alcance. Mientras físicos eminentes actuales se enfrentan con el conjunto de las treinta partículas conocidas hasta ahora como con una casa de fieras (*atomic menagerie*), COLINO aborda un capítulo de *Teoría de las partículas elementales* con una solidez y un orden superior a lo que yo conozco hasta hoy.

Con ella nos acomodamos racionalmente a la explicación de las regularidades, desde el pesado hyperón a través del protón, el neutrón y los mesones, al electrón, que es dos mil veces más ligero que el protón, y al neutrino, sin masa ninguna, paquete de energía que viaja a la velocidad de la luz. Así entenderemos bien que ningún proceso físico pueda cambiar la suma de masa y energía, y que la carga eléctrica total de los productos de cada reacción ha de equivaler siempre a la carga total de los componentes.

Tanto los conceptos a que llega COLINO en su *Teoría del campo unificado de Einstein* como en *Causalidad y determinismo*, y en su *Realidad física*, llenan de luz por la extensión y el orden de su conocimiento y por las felicísimas imágenes de que están esmaltadas las interpretaciones más discutidas hoy por los sabios respecto a los problemas de la constitución de la materia. Toda incitación de mi parte para un estudio detenidísimo de esos capítulos de su discurso me parecería menor de lo que merece su excepcional poder revelador.

Y puesto que aquí no puedo yo aspirar a que me concedáis más tiempo vuestra atención, me referiré ya sólo a cómo le he debido por mi parte una clarificación en la novísima noción de *strangeness*—voz que me atrevo a traducir por *foraneidad*—y una firmeza de orientación personal ante la expectativa de la historia venidera de la Física.

Como el autor dice certeramente, «con la tendencia en la Física Moderna de recurrir a observables y a criterios operacionales, la materia ha ido perdiendo sustancialidad. Si somos optimistas-pesimistas ante la «interpretación de Copenhague»—que es mi tendencia como estadístico—o pesimistas-optimistas, siguiendo a los grandes físicos teóricos clásicos, y aceptemos o no las variables ocultas de von

NEWMAN, no podemos ignorar los nuevos *atributos* de la inmutabilidad y en especial la *strangeness*.»

Parece incomprensible que las fuerzas débiles que actúan sobre estos atributos, cambian propiedades que son inalterables ante las fuerzas poderosas, y, sin embargo, es a uno de estos cambios lentos casi excluidos por regla de selección—a la colisión ocasionada en el ámbito interior del Sol, en la que dos protones forman un deuterón y un electrón positivo—al que debemos casi todo el calor y la luz que llegan a la Tierra.

Pero el hecho de ver subsistentes leyes tan firmes como la de la invariabilidad de la carga total o de la energía y la masa totales, es indicio, en mi opinión, de una sencillez fundamental en las leyes de la Física que recuerda a la de la simetría básica del espacio vacío admitida en mecánica ordinaria. Y el profundo pensamiento matemático con que COLINO aborda todas sus ideas físicas nos hace interpretar las leyes de selección y de conservación sobre un último cimiento que liga la simetría y la invariabilidad. Llego así a la conclusión de que la intuición de la simetría ante cada una de las reglas de selección es hoy el mejor de los métodos teóricos para resolver este problema de la constitución de la materia que, como confiesa el nuevo Académico, fué irremediable para su inconsciente escribir como título de su discurso.

En cuanto al porvenir próximo que parece ofrecernos la Física me siento inclinado a las mejores esperanzas. Al final del siglo XIX nos preparábamos a salir de la modestia doctrinal específica de la Química, que nos había enseñado las propiedades químicas, los pesos atómicos de muchos elementos y las reglas de sus combinaciones, pero sólo como resultados empíricos de los análisis en el laboratorio, sin saber aún cuándo reduciríamos tan rica y firme diversidad a leyes generales.

Es la mecánica atómica la que ha hecho ya a la teoría llenar las lagunas del empirismo, y aquellos conocimientos únicos y valiosísimos entonces, quedan hoy todos explicados por la sola ley que describe la acción de los electrones bajo la influencia del campo eléctrico de un núcleo atómico.

Así confío en que los grandes físicos van a llevarnos ahora a la comprensión común de las partículas fundamentales. Ya sé que unos



empresen la ruta de postular la exclusión de las partículas no descubiertas, siendo las hoy conocidas manifestaciones de estados especiales de la materia primitiva.

Otros se orientan en dirección radicalmente opuesta. Nuestra futura descripción no admitiría una sustancia más fundamental. El comportamiento y la existencia de las partículas surgiría como parte necesaria de la descripción de la realidad, y como el número de las partículas que conocemos es infinito, deberíamos restringir la precisión en las escalas del tiempo y del espacio para seguir el proceso de los fenómenos físicos.

Del animado debate entre los defensores de una y de otra actitud surgirá la primera expresión de ley general, y si COLINO puede dedicar a ello esfuerzo perseverante, tendremos la gloria de que la nueva superación universal del empirismo refleje la huella profunda de su numen.

\* \* \*

Habéis oído que el final del discurso está dedicado a la Interpretación Física de la Materia Viva. En un arranque de probidad intelectual nos advierte el recipiendario—en los cuatro últimos y preciosos capítulos que dedica al que denomina *deslumbrador ensueño* de explicar físicamente la Vida, de extremo valor sobre todo por la fecha en que los terminó—, de que él no es biólogo y de que tampoco ha podido reflexionar bastante sobre los temas para exponerlos con honradez ideológica que le satisfaga.

No se os ocultan las salvedades que a mi vez se impondrían al glosar yo esta parte de su Memoria.

Pero quizá nos hagáis en este instante una observación. ¿No fué precisamente sobre Cibernética, en su relación con la biología, la labor que llevamos a Bruselas ante todo el mundo para el primer Palacio de la Ciencia Pura, que algún día se levantará al fin, también con contacto personal entre los hombres de todos los pueblos ya con carácter permanente?

Así fué; mas observad en el grabado que nuestro trabajo se intitulaba «Aportación de la escuela de CAJAL». Es decir, que nuestras ideas en el estricto campo escogido, se apoyaban en creaciones quizá inmortales de las que las nuestras eran sólo humildes y accesorias

derivaciones que el genio no expresó, pero seguramente intuyó. No cabía, pues, yerro sustancial porque descansábamos en aquellas verdades fundamentales que él arrancó a lo desconocido y que todos los sabios que le han sucedido no han podido más que reverenciar.

Es sabido que las investigaciones que en Norteamérica impulsa desde el Instituto Nacional de Enfermedades Neurológicas y de la Ceguera en Bethesda (Maryland) su director el doctor Pearce BAILEY—comentadas a veces en relación con el llamado «Rayo de la Muerte»—se basan allí, como en el mundo entero, en la obra de CAJAL. Cada día asombra más que una sola vida humana pudiera dar de sí tantos y tan firmes descubrimientos que requieran más de sesenta años a cuantos investigadores le han seguido, para ir estudiando y verificando poco a poco una parte del inmenso mundo que él reveló casi como si fuese un confidente del Creador.

Apoyándonos rigurosamente en CAJAL, apenas podíamos fallar, convicción que en otros campos sostiene el doctor don Antonio LONGORIA, de Cleveland, que sobre la escuela de don Santiago es hoy figura sobresaliente en Estados Unidos.

Esperemos que el nuevo y joven Académico, que tiene por delante tan prometedora carrera, insertará también sus grandes investigaciones venideras sobre el origen de la vida en esta madre del conocimiento de la Naturaleza que es la titánica obra del histólogo que España dió a la Ciencia Universal.

Y esta esperanza nos lleva a teminar con una conclusión y una súplica.

## REPOBLACION CEREBRAL EN NUESTRA CIENCIA

La conclusión es que si para llegar a la Biología hemos de pasar por la Física, no podemos ya entrar hoy en ésta sin previa y cada vez más profunda entrega a la Matemática.

¡Hay que enseñar más Matemática Superior!

Uno de mis recientes orgullos de español fué comprobar que el último de los problemas que sobre difracción de ondas presenta COLINO en el capítulo primero del tomo IV de la Teoría moderna de los campos electromagnéticos que explicó aquí en la Academia, no fué publicado por los físicos de Norteamérica, por recelar allí el consejo responsable que sólo matemáticos especializados podrían entender el trabajo de Madrid. No pude menos que recordar la frase de BARRES, *la investigación científica es un nuevo aspecto del deber patriótico*, idea que mucho antes que él nos había inculcado CAJAL al confiar al patriotismo una de las reservas más dinámogenas de la competencia científica.

La extensión de la Matemática no es además sólo necesaria a la Física, sino a la nueva Aritmética que basada en la Electrónica, imprimirá socialmente carácter a la Epoca.

Mas pensemos en la concentración que exige llegar al dominio de estas ciencias, que representan el orden más elevado de la actividad mental y que son el dinamómetro de la jerarquía mental de cada raza, y en los deberes de respeto, cooperación y servicio que la sociedad tiene con los escasos cerebros de aptitud y disciplina de voluntad suficientes para enlazar el nombre de la Patria a las más arduas victorias del progreso humano.

Y reconozcamos que es esto lo que no sabemos hacer en nuestra vida española.

Creo poder afirmar, después de mi contacto a veces prolongado con primeras figuras científicas del mundo, que COLINO como OTERO—y les nombro sólo a ellos porque trabajaron conmigo y además ahora hablo en esta Casa—, son investigadores cuya obra podría estar a estas fechas ya unida a las de más alto reconocimiento internacional.

*¡Pero no les dejamos!*

La obligación que sentimos de alcanzar otros objetivos que no requerirían ni de lejos las características propias de estos maestros, nos lleva a hacerles consagrar la mayor parte de su tiempo y esfuerzo a menesteres que no son los suyos. Y habríamos de solicitar la intervención del Ministerio de Educación Nacional para amparar por disposición de Gobierno a nuestros sabios, a todo trance, en su actividad creadora ; y así como la legislación sólo atribuye permisos de trabajo a extranjeros que no puedan ser sustituidos por españoles, procedería llegar a hacer imperativa la importación de gerentes, antes que encomendar una gestión económica, por mucha que fuese la altura de su tema, a un investigador arrancado de su laboreo científico.

Si nuestra Sociedad no encuentra el remedio, evocaríamos aquí en la vida científica la inversa de la perfección que ofrece el admirable ejemplo de la colmena. La más envidiable superioridad de las abejas está en que saben preparar la alimentación y el medio de apoyo para transformar en reina una larva común ; y nosotros podríamos correr el riesgo de convertir al revés en protoplasma vegetativo las larvas ya reales con que Dios nos privilegió.

Ello no será.

Reflexionando sobre el éxito que ha traído a nuestra economía, la repoblación por los Ingenieros formados en la Escuela de Montes por el benemérito Conde de BADARÁN, creo, cada vez con más firmeza, que llega para España la hora de la superior repoblación cerebral en nuestra Ciencia.

\* \* \*

Reciba hoy nuestra bienvenida don Antonio COLINO LÓPEZ y llegue al Instituto de España con fe, en que estas súplicas a nuestros poderes políticos y sociales, serán escuchadas, y el joven Académico, que tanto honra a la esclarecida insignia de la Ingeniería Industrial y a los Catedráticos del Estado, presenciara dilatadamente la ascensión social del hombre de ciencia español ; porque quienes inmortalizaron sus nombres en las exploraciones geográficas, en el heroísmo de la guerra y en las empresas del arte, habrán dado impulso a sus sucesores en la Patria, para recoger, al fin, la semilla de CAJAL, genio científico de España, cuyo espíritu encumbra a esta Casa y cuyo noble busto nos está contemplando, e incorporarse con perseverancia a la obra de las naciones adelantadas en la investigación de la Naturaleza.