

Ac. Esp. II-162

D. J. P.

REAL ACADEMIA ESPAÑOLA

---

# DISCURSO

LEIDO EN EL ACTO DE SU RECEPCION POR EL

EXCELENTISIMO SEÑOR

D. JULIO PALACIOS MARTINEZ

Y

# CONTESTACION

DEL

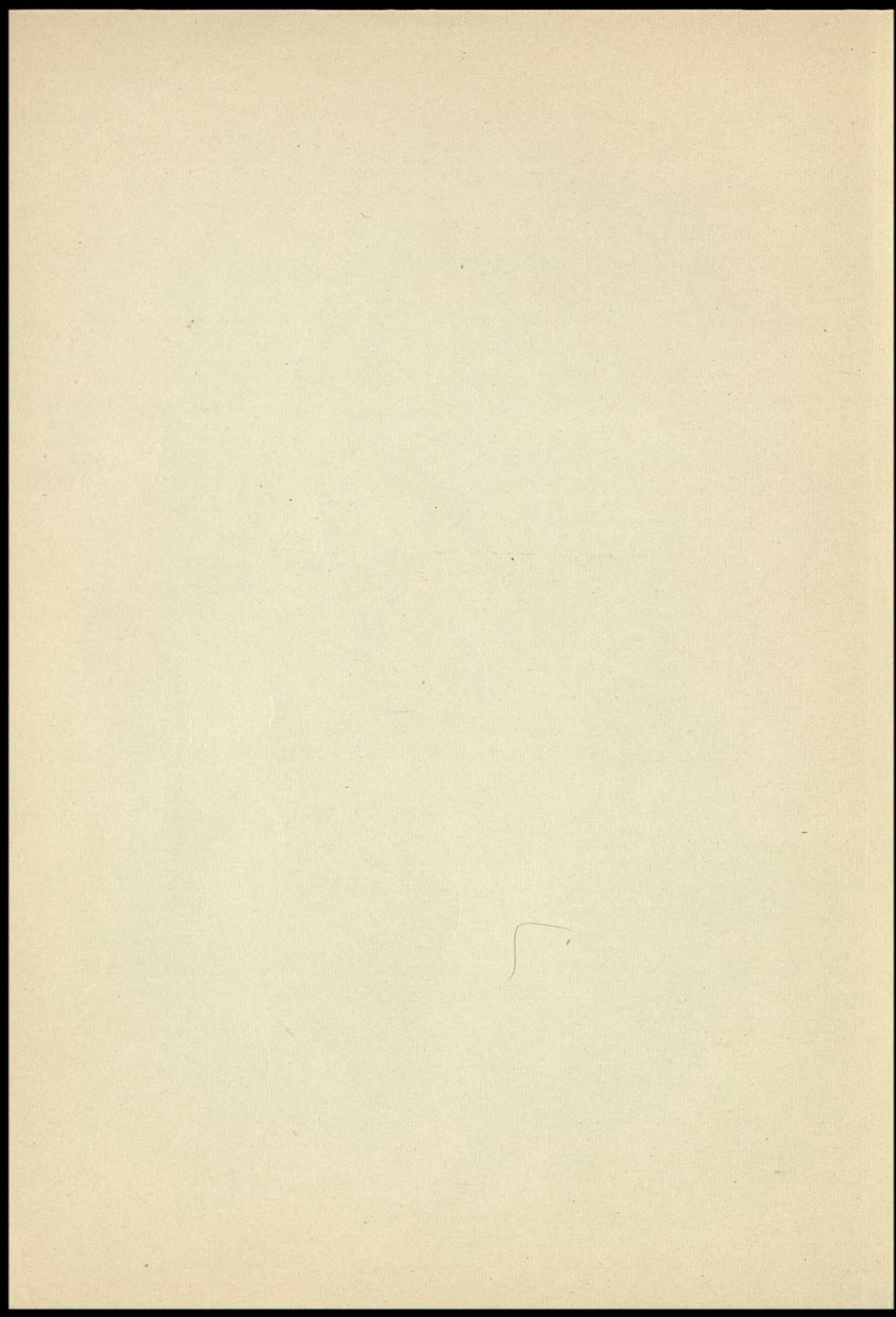
EXCELENTISIMO SEÑOR

D. RAFAEL ESTRADA ARNAIZ



MADRID

1953





EL LENGUAJE DE LA FISICA  
Y SU PECULIAR FILOSOFIA

UNIVERSITY OF CALIFORNIA  
LIBRARY



R. 51227

REAL ACADEMIA ESPAÑOLA

EL LENGUAJE DE LA FISICA  
Y SU PECULIAR FILOSOFIA

DISCURSO DE RECEPCION

DEL

Excmo. Sr. D. Julio Palacios Martínez

LEIDO EL 13 DE DICIEMBRE DE 1953

Y CONTESTACION DEL

Excmo. Sr. D. Rafael Estrada Arnáiz



MÁDRID, 1953

EL LENGUAJE DE LA FISICA  
Y SU RELACION CON LA FILOSOFIA



## INTRODUCCION

Os pido, excelentísimos señores, que recordéis por un momento el estado de perplejidad y turbación en que vivisteis desde el instante en que os llegó la noticia de vuestra elección hasta el día en que, como yo ahora, y en este mismo lugar, tomabais posesión de vuestra silla en la Real Academia Española. Sois todos gente de pluma y hubo de seros fácil reflejar de modo fiel vuestro estado de espíritu al ser escogidos para, juntamente con los más eminentes literatos, con los oradores, retóricos, poetas y novelistas, con los conocedores de la gramática, la etimología y la semántica, ser los guardianes del riquísimo tesoro de nuestra lengua. En mis manos, por el contrario, es la pluma instrumento rebelde con el que alguna vez acierto a decir lo que pienso, pero con el que nunca he conseguido expresar lo que siento. Por eso no veo más camino que hacer más las bellas frases con que, al encontrarnos en el trance en que me veo, supisteis expresar vuestro agradecimiento. Me encomiendo, pues, a vuestra benevolencia, y me limitaré a decir que, si la gratitud ha de ser tanto mayor cuanto más escasos sean los méritos, la mía tiene que superar forzosamente a la vuestra.

Perplejo y turbado, pero no envanecido, son los adjetivos que más convienen a mi ánimo en estos momentos. No me envanezco porque me doy cuenta perfectamente del motivo de mi elección. Mi presencia aquí se debe a la necesidad sentida por don Antonio Maura, de dar cabida en el diccionario a las voces técnicas que lo merecieren. Seré, pues, uno de esos académicos que, según Marañón «ninguno, con excepción de Echegaray, hubiera llegado hasta este recinto por la sola virtud de sus literarios merecimientos».



Puesto que no me llamasteis por razón de méritos literarios, no debéis esperar de mí una bella disertación. He de atenerme a mi oficio, lo que me obliga a escoger un tema de física, y a tratarlo sin adornos ni galanuras, por ser cosa inadecuada y fuera de mi alcance.

La presencia en la Academia de hombres dedicados a la ciencia pura, a la ingeniería y a la navegación obedece al deseo de incluir en el Diccionario los tecnicismos que merecen carta de naturaleza en nuestro idioma, en especial aquellos que, salidos de los círculos de especialistas, han pasado ya a ser del dominio de la gente culta.

Se trata, pues, de seleccionar voces técnicas y definir las con términos que estén al alcance de los no especializados. Evidentemente, el primer requisito para lograr este propósito es que existan ya buenas definiciones en los respectivos libros de ciencia y de tecnología, pero mi experiencia pedagógica me ha enseñado que, por lo menos en física, es cuestión peliaguda encontrar buenas definiciones hasta de los conceptos más fundamentales y ello va a ser el tema de mi discurso.

Al redactarlo me he visto forzado, bien a pesar mío, a rozar con cuestiones filosóficas, y me ha parecido ver con toda claridad que el lenguaje utilizado hasta ahora por los físicos corresponde a un punto de vista que califico de realismo ingenuo, y puede ser considerado como la filosofía que ha regido el pensamiento físico y con la que esta ciencia ha adquirido tan maravilloso desarrollo.

#### A LA MEMORIA DE MI MAESTRO, D. ESTEBAN TERRADAS

«Cargó sobre sus hombros tarea sobrehumana, y el gigante ha sucumbido.» Así comienza Rey Pastor el artículo biográfico de Terradas en la *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. Es el caso de un gigante juzgando a otro gigante; lo adecuado para dar idea de la talla de Terradas y del vacío que dejó y que yo, menguado de mí, sólo podré ocupar en mínima proporción.

En nuestra época, en que la especialización es cosa obligada para sobresalir en cualquier disciplina, la obra de un hombre de ciencia puede ser abarcada y expuesta por uno solo de sus



colegas. En la sesión que la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales celebró en honor de Terradas, a pesar de que se limitó el campo a lo estrictamente científico, hubo que distribuir la tarea entre cinco especialistas. Su condiscípulo el P. Enrique de Rafael nos relató su vida de estudiante y los brillantes éxitos obtenidos en su precoz carrera; don Francisco Planell Riera nos refirió sus actividades en ingeniería civil, don Felipe Lafita Babio examinó la obra de Terradas en el Instituto Nacional de Técnica Aeronáutica; por mi condición de discípulo perpetuo de Terradas y por la admiración y cariño que siempre sentí por él, me cupo la honra de exponer su obra en el campo de la física; en fin, Rey Pastor, con su prosa ágil y certera, puesta al servicio de una amistad entrañable, nos dió una semblanza perfecta de lo que fué Terradas. Y aun quedó materia para que Puig Adam, en la *Revista Matemática*, y Baltá, en los *Anales de Física y Química*, rindieran tributo al maestro de todos.

Pero algo quedó por decir, algo que debe ser dicho precisamente en esta ocasión.

Otro de mis más queridos maestros, don Blas Cabrera, afirmaba, al ser recibido en esta Academia, que «la situación, allá en los últimos años del siglo XIX y los albores del XX, era tal, que los amantes de las ciencias físicas nos vimos forzados a descuidar la lengua materna en términos tales, que casi llegamos a desconocerla». Esto, como regla general, era cierto, y aún podía haber añadido que la ignorancia del propio idioma entre los improvisados cultivadores de la física moderna no era sino el síntoma de una deficiente formación humanística. Pero, como todas las reglas, la frase de Cabrera admitía excepciones: desde luego, la del propio don Blas, lector incansable de libros y revistas; y además de Terradas, de quien nos refiere el P. Rafael que «cuando no estaba estudiando, recitaba con gran énfasis poemas líricos en muchas lenguas. Manzoni, Leopardi, Foscolo, Víctor Hugo, Alfredo Musset, Leconte Lisle, Lord Byron, Goethe, y también clásicos españoles, sobre todo de la época romántica, continuamente fluían de sus labios».

Aconsejaba Eça de Queiroz que se hablasen «patrióticamente mal» hasta cinco idiomas extranjeros. El consejo no rigió para Terradas, puesto que, excepcional en todo, no cejó hasta dominar a la perfección todos los idiomas cultos, con su res-



pectiva literatura, cuidando tanto la extensión de su vocabulario como la sintaxis y la fonética. Si en las reuniones científicas maravillaba Terradas porque, cualquiera que fuese el asunto, sabía más que entre todos los presentes, no era menos asombrosa la perfección y fluidez con que se expresaba en cualquier idioma.

Aunque poliglota y con constantes relaciones internacionales, fué el español su idioma propio, el que le inspiró mayor reverencia, el que dominó con mayor maestría y en el que, salvo algunos en su lengua materna, publicó todos sus escritos. En castellano logró crearse, no uno, sino varios estilos adecuados a sus variadas actividades. Preciso, escueto, elegantemente conciso en sus producciones científicas, sabía adornarse con bellas galas retóricas en las ocasiones solemnes. Gustaba con fruición de los vocablos castizos, que buscaba en la lectura de los clásicos o en el hablar campesino, lo mismo en las masías de su tierra natal, que en los cortijos andaluces, en los páramos de nuestra altiplanicie o en la lejana Patagonia, pero su buen gusto y refinada elegancia no transigieron jamás con el vocablo soez del suburbio.

Este su gran amor por nuestra lengua se exteriorizó con caracteres de verdadera pasión cuando fué llamado a ocupar una silla en esta Academia. Puedo dar testimonio de que ninguno de los honores que recibió en vida (mezclados, por cierto, con profusión de venenosas mordeduras de los envidiosos) le produjo tanta complacencia.

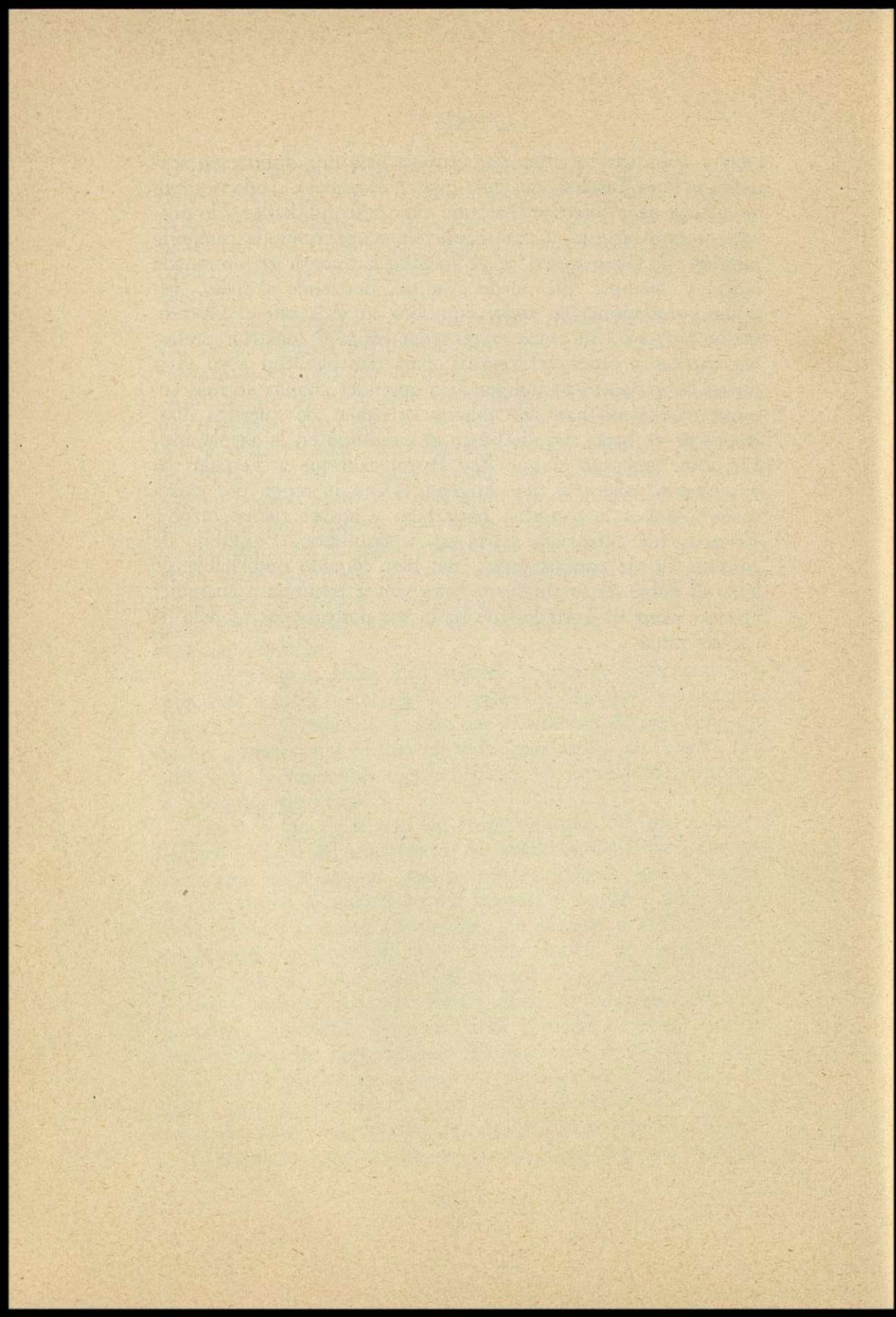
Electo el 30 de marzo de 1944, cuando sólo con esfuerzo titánico lograba sobreponerse a sus sufrimientos físicos, cuando las piernas no le servían sino de tortura, cuando una sensación de frío glacial le traspasaba los huesos, y cuando, sobre todo, tenía sobre sí la carga abrumadora de planear y dirigir las investigaciones relacionadas con la aeronáutica, la electrónica y la física nuclear, roba tiempo al descanso y se dedica en cuerpo y alma a ordenar el caudal lexicográfico de todas las ciencias y de todas las técnicas. Y en dos años y medio os ofrece, no un discurso, sino un libro titulado *Neologismos, arcaísmos y sinónimos en la plática de ingenieros*, pletórico de erudición y de ciencia propia, verdadera cantera donde habremos de buscar los materiales para la confección de nuestro diccionario tecnológico.

Ciertamente, un infolio de 300 páginas, con profusión de



citas y apéndices, es cosa desmesurada para una disertación académica. Pero Terradas no tenía tasa en el trabajo. Todo hombre de ciencia lleva forzosamente una vida desequilibrada, y lo normal es que busque el contrapeso en ocupaciones de categoría inferior. Es como quien se ve forzado a trabajar en empinada ladera y, siempre que puede evadirse, desciende al llano. Terradas, excepcional en todo, equilibró su vida por el procedimiento inverso. Su oficio era enseñar Física y construir presas, ferrocarriles y redes telefónicas; para dar plenitud a su vivir dedicó su portentosa inteligencia a aprender cuanto de más sublime y elevado han descubierto los sabios de nuestros días. En lugar de bajar al valle buscó el equilibrio en la altiplanicie. He aquí explicado el que Rey Pastor califique a Terradas de equilibrado, mientras que Eugenio d'Ors lo tenga por extremado. Ambos le conocían muy bien y ambos tienen razón: Terradas fué extremado hasta en su equilibrio. Equilibrio de cumbre, no de equidistancias, tan bien logrado que, habiendo leído el doble de lo suficiente para volver tarumba a cualquier hombre normal, Terradas fué hasta sus postrimerías modelo de mentes sanas.







## PARTE PRIMERA

### DEFINICIÓN DE LA FÍSICA

Es seguro que si se pregunta a varios físicos si tal o cual materia es asunto de la física, las respuestas serán concordantes. Por otra parte, alardean los físicos de que su ciencia, a diferencia de otras ramas del saber, opera con nociones perfectamente definidas, válidas en todo tiempo y lugar (1). Con estas premisas sería de esperar que en cualquier tratado de física se encontrase una definición satisfactoria de la ciencia que nos ocupa. Pero el curioso que consulte los libros que estén a su alcance, irá de sorpresa en sorpresa. La mayor parte de los tratadistas entran en materia sin decir de qué van a tratar, y las definiciones que excepcionalmente se encuentran son dispares y ciertamente poco satisfactorias; sin pretender una enumeración exhaustiva, vamos a examinar algunas, haciendo con ellas un conato de clasificación.

#### *Definiciones teleológicas, con discriminación de la química.*

Empecemos por el libro de Ganot que, en su tiempo, gozó de tanta popularidad como las novelas de Julio Verne. En su edición de 1884 se encuentra la siguiente definición, que, con

---

(1) Dice, por ejemplo, G. Mic, *Lehrbuch der Physik*, de Müller-Pouillet: «In der Physik wird jeder Begriff durch eine umfassende und ausreichende Definition festgelegt und für alle Zeiten unveränderlich gemacht». (En Física, cada noción es definida de modo completo y suficiente y queda fijada para siempre.)



retoques poco afortunados (2), subsiste en algunos libros modernos:

*La física tiene por objeto el estudio de los fenómenos que presentan los cuerpos, en tanto estos no experimentan cambios en su composición.*

He aquí una definición teleológica, de esas que, como dice Casares (3), nos informan de la naturaleza de las cosas en razón del fin a que se destinan; por su forma, es lógicamente perfecta, pero no sirve para nuestro propósito, pues tomándola al pie de la letra, resultaría que, cuando Nerón intentaba describir el incendio de Roma, con tal de que no hablase de la calcinación de los mármoles y demás fenómenos químicos, hacía física sin saberlo.

En la definición que hemos transcrito, el género próximo es excesivamente amplio, y la diferencia última demasiado restrictiva, con lo que son abarcadas todas las ciencias cosmológicas y la biología, y en cambio se excluye la moderna física nuclear, obra de físicos y elaborada con métodos físicos.

No hace falta ser un lince para adivinar que todas las definiciones de este tipo están hechas bajo la influencia de un prejuicio y con un pie forzado. El prejuicio proviene de las ideas materialistas en boga durante el pasado siglo, cuando la posición científica consistía en creer que no había en los seres animados nada que estuviese fuera del alcance de la física o de la química. El pie forzado estaba impuesto por un hecho consumado: la existencia de la química como ciencia aparte en todos los programas universitarios.

La aparición de ciencias híbridas, tales como la astrofísica, la geofísica y la química física, revela que en todas las ciencias cosmológicas hay algo que es incumbencia de la física, y, por cierto, es lo que hay en ellas de verdaderamente científico; el resto es puro empirismo. También ha penetrado la física en el campo de la biología con el nombre de biofísica, pero lo hace dándose cuenta de que hay algo en este dominio que queda

---

(2) Caltelfranchi (1948), por ejemplo, en una primera definición, dice: «La Física studia i fenomeni che si compiono senza trasformazione intima e permanente della materia». El requisito de que la materia no experimente transformaciones íntimas no aclara nada, porque ¿cómo reconocer el carácter de intimidad?

(3) Julio Casares: *Introducción a la lexicografía moderna*, Madrid, 1950.



fuera de su alcance, cosa que no sucede en los demás fenómenos (4).

### *Las definiciones empíricas.*

De las definiciones ambiciosas que pretendían abarcarlo todo, salvo la química, pasamos a otras que pecan por excesivamente modestas.

Cuando comencé mis estudios servía de texto en nuestras universidades un libro francés, escrito por Chappuis y Berget, en el que aprendí que:

*La Physique pourrait etre definie la science des mesures experimentales.*

Han pasado los años y, con la sola supresión del superfluo adjetivo, encuentro la misma definición en un libro de Campbell (5).

En último término, la operación de medir, que se considera lo esencial en física, consiste en la observación de coincidencias, y por eso dice Eddington que al físico le basta con un ojo que ni siquiera necesita distinguir los colores.

Es cierto que la física necesita medir, y creo que fué Lord Rayleigh quien dijo: «cuando se puede medir aquello de que se habla y expresarlo por un número, se sabe algo a su respecto; sin medidas, el conocimiento es escaso e insuficiente.» Pero lo mismo ocurre y en mayor grado, en astronomía y geodesia. Además, el virtuosismo en el arte de medir no es en física un fin, sino un medio, y bastan estas consideraciones para que el lexicógrafo más profano no se dé por satisfecho con las definiciones empiricistas.

Es evidente que un buen cuadro, o la descripción de un país, hecha por un buen literato, dan una idea mucho más cabal que un plano topográfico con sus escalas y líneas de nivel. En el cuadro de «Las Lanzas» no importa el número de picas ni su

---

(4) Del fundador de la mecánica cuantista, Erwin Schrödinger, es la siguiente frase: «Las piecillas del organismo animal en nada se parecen a los toscos artificios con que el hombre construye sus máquinas; están hechas por Dios Nuetro Señor de acuerdo con su mecánica ondulatoria» (*What is life?*, Cambridge, 1945.)

(5) Norman Robert Campbell: *The Principles of Physics*, 1942.



longitud exacta. Sin embargo, cuando se trata de satisfacer lo que Zubiri llama «ansia de realidad», lo que interesa es lo que dicen los físicos, hasta el punto de que los más brillantes literatos o los más profundos filósofos, ni siquiera intentan hacer por su cuenta una descripción de la realidad física. ¿A qué se debe el que en física importe, sobre todo, la fórmula, el canon y el módulo?

He aquí una cuestión que trasciende, evidentemente, del campo de la física, y cuya respuesta corresponde a la psicología. Pero, a nuestro modo de ver, se parte de un supuesto falso. El físico tuerto y daltoniano no serviría para su oficio si no tuviera, además, un cerebro para describir lo que observa y mide, dándole una dimensión que va más allá del mero número. Las tablas de constantes están llenas de números, pero están clasificados y no se concibe cómo se las arreglaría el pobre físico eddingtoniano para saber a qué casilla llevar el resultado de su medida. La física es algo más que un conjunto de cifras encasilladas, y más también de lo que resulta inmediatamente de las lecturas hechas con los aparatos. Para pasar de los puntos y rayas de un diagrama de rayos X a la estructura cristalina que los originó, hace falta buena dosis de ingenio, largos razonamientos y bien disciplinada imaginación. La física nuclear no merecería tal nombre si no fuera más que una lista con el número de chasquidos que da un tubo de Geiger en tales o cuales circunstancias, o una colección de fotografías obtenidas con la cámara de Wilson.

El físico, además de medir, pretende describir lo que observa, y ni la medida tendría sentido ni la descripción sería posible si no tuviera en su imaginación un esquema al que referir sus medidas y sus descripciones. Así es como de los diagramas, bellos pero inexpresivos, obtenidos al recoger en una placa los rayos de Roentgen que han atravesado un cristal, surgen las maravillas de la estructura íntima de los cuerpos sólidos, en la que las relaciones métricas tienen el mismo papel secundario que en geografía. Con los datos del tubo de Geiger, de la cámara de Wilson o del espectrógrafo de masas, se llega a enumerar los corpúsculos existentes en el Universo y a describir los átomos con tal acopio de pormenores, que nuestra fantasía fracasa al tratar de formar con ellos una imagen inteligible. ¿Cómo encontrar enigmas si sólo se manejasen cosas tan razonables como son los números?



*El carácter matemático de la física.*

Kant declara (6) que «el estudio científico de la naturaleza y su estudio matemático son una misma cosa». Hans Reichenbach (7) dice que «la física es la ciencia natural matemática o exacta». En fin, una excelente enciclopedia física alemana se titula *Ergebnisse der Exacten Naturwissenschaften*, dando a entender que el carácter de exactitud es lo que distingue a la física de las demás ciencias.

Es tentador basarse en la autoridad del eximio filósofo alemán y definir la física como la matemática de la naturaleza. Pero es el caso que la física no puede monopolizar el método matemático. A nadie se le ocurriría, por ejemplo, afirmar que el cálculo de probabilidades aplicado a cuestiones de genética cae dentro de la física.

Por otra parte, hay una diferencia esencial entre la matemática pura y la que se utiliza en la física. Los matemáticos pueden partir de definiciones y axiomas o postulados elegidos a su sabor, con la única condición de que no sean contradictorios y, con auxilio de su lógica, esto es con la que Poincaré llama inducción matemática, remontarse de lo particular a lo general (8).

Nada de esto ocurre en física; sus leyes universales, aunque tengan aspecto matemático, son experimentales, porque han de ser confirmadas en todas sus consecuencias. Este carácter empírico las coloca en situación precaria, porque siempre están en peligro de recibir retoques o aditamentos como consecuencia de un mayor refinamiento en las medidas. Cuando la matemática llega a un resultado, no necesita comprobarlo experimentalmente, aun suponiendo que ello tuviere sentido, pues es seguro que la predicción teórica tiene mayor grado de precisión que las comprobaciones. A nadie se le ocurrirá mejorar el valor de  $\pi$  por medidas directas aunque la geometría euclidiana esté en entredicho. En cambio, para las constantes físicas hemos

---

(6) Kant: *Fundamentos metafísicos de la ciencia natural*, 1786.

(7) Hans Reichenbach: *Objeto y método del conocimiento físico*, 1930.

(8) H. Poincaré: *El valor de la ciencia*, Buenos Aires, 1945. Véanse también los artículos de Zaragüeta y M. Sánchez Arcas en *Theoria*, julio-septiembre 1952.



de contentarnos con los valores imperfectos obtenidos por vía empírica, no por el raciocinio.

Como dice Rey Pastor (9), «la matemática es la ciencia de las estructuras abstractas y los postnewtonianos hicieron felices hallazgos de estructuras que podemos llamar reales porque explican multitud de fenómenos naturales».

### *Las definiciones metafísicas.*

Es difícil para los físicos definir la física por una razón muy sencilla. Para deslindar un campo hay que recorrer su contorno con un pie a cada lado de la linde y, al hacer esto, tiene el físico que pisar en el terreno de la metafísica que, para él, es como un atolladero. He aquí, sin embargo, dos ejemplos de definiciones metafísicas, uno clásico y otro contemporáneo.

*Les causes primordiales ne nous sont point connues, mais elles sont assujeties a des lois simples et constantes que l'on peut decouvrir par l'observation, et dont l'étude est l'objet de la Philosophie naturelle* (10).

*Die Aufgabe der Physik ist die Ergründung des kausalen Zusammenhanges der Naturwissenschaften* (11). (El propósito de la física es dar fundamento a las relaciones de causalidad en las ciencias naturales.)

Heme aquí en plena epistemología, en terreno que me es completamente desconocido. Con toda timidez me permito opinar que tanto Fourier como Mie colocan demasiado alto el propósito de la física. Ni en libros de física ni en reuniones de físicos se atreve nadie a mencionar las causas primordiales a que se refiere Fourier, y aunque las relaciones de causalidad que cita Mie constituyen actualmente tema de encendida discusión, no se trata de buscar su fundamento, sino más bien de examinarlas a la luz del principio de indeterminación de Heisenberg. No creo que la definición de Mie satisfaga ni a físicos ni a filósofos; los primeros la encontrarán excesivamente pretenciosa, y los segundos la rechazarán como un caso de intrusismo.

---

(9) Julio Rey Pastor: *La matemática superior*, Buenos Aires, 1951.

(10) Fourier: *Théorie Analytique de la Chaleur*.

(11) Artículo de G. Mie en *Lehrbuch der Physik*, de Müller Pouillet.



### *Las definiciones humorísticas.*

De nuestra excursión por las bibliotecas de física hemos salido descorazonados. Pero las enciclopedias, quieras que no, han de comenzar cada artículo con la correspondiente definición. Como la más prestigiosa es la Enciclopedia Británica, a ella recurrimos y, en efecto, en el artículo «Physics», escrito por Darrow (12), después de destacar las dificultades con que se tropieza para distinguir la física de la química, dice textualmente: «No hay más remedio que recurrir a las definiciones semijocosas, por ejemplo, la que establece que física es el campo cultivado por los físicos». (*One is then forced back onto semijocular definitions as for instance the one which states that physics is the subject cultivated by physicists.*)

La lectura de este párrafo nos llena de curiosidad. ¿A qué definiciones semijocosas alude? Por supuesto, el humorista ha de ser inglés, y, en efecto, según Eddington (13): «Física es lo que una persona de nuestro tiempo, de buen criterio, acepta como del dominio de la física», o también, «el contenido de ciertas enciclopedias, por ejemplo el *Handbuch der Physik*».

### *Las ciencias naturales y la realidad.*

Todos están de acuerdo en que la física es una de las ciencias naturales, esto es, su asunto es la naturaleza. Pero, al hacer esta afirmación, tan poco comprometedora a primera vista, hemos caído en terreno movedizo, pues si queremos estar al día habremos de reemplazar naturaleza por realidad, y, ¿qué es realidad? Si hubiera de responder trayendo a colación cuanto sobre ello se ha escrito, aquí se acabarían mis esperanzas de seguir adelante con mi discurso, pues son tantos los distinguos, sutilezas y tiquismiquis que sería el cuento de nunca acabar. Si, por vía de ejemplo, razonásemos a la manera de Burniston Brown (14), llegaríamos a la conclusión de que sólo es real lo que forma parte de los conocimientos de cada uno (*private*

(12) K. H. Darrow: *Enciclopedia Británica*. Art. «Physics».

(13) Eddington: *La filosofía de la ciencia física*, 1912.

(14) G. Burniston Brown: *Science, its Methods and its Philosophy*, Londres, 1950.





*knowledge*). Lo demás son afirmaciones que pueden ser verdaderas (*true*) cuando cualquiera puede comprobarla directamente y se denominan hechos (*facts*); o bien son meras hipótesis si, aunque sirvan para explicar más o menos satisfactoriamente ciertos hechos, no hay modo de comprobarlas empíricamente. Según esto, Mr. Winston Spencer Churchill es un personaje verdadero, mientras que Napoleón y Homero son personajes más o menos hipotéticos. Finalmente, la realidad pasa a ser cosa subjetiva, y hay tantas realidades como seres humanos habidos y por haber.

Tanto y tan variado se ha escrito sobre la realidad, que me declaro incapaz de resumir lo que he leído, cuanto más lo muchísimo que no pienso leer. Y, para justificar mi inhibición, me basta atenerme a lo que dice Margenau (15), profesor de Filosofía natural en la Universidad de Yale: «Se puede practicar la ciencia sin opinar acerca de la realidad y sin usar siquiera la palabra real; de hecho, cuanto menos se diga acerca de la realidad, de tanta mejor calidad será la ciencia que se construya.»

Pero tengo mejor camino para salir del atasco. Dícese en tono despectivo que muchos físicos profesan un *realismo ingenuo* (algunos dicen realismo medieval), que consiste en creer que hay una realidad, que es parcialmente percibida por nuestros sentidos. Pues bien; tras escrupuloso examen de conciencia, confieso que, sin advertirlo, he sido y soy realista ingenuo. Hay una realidad, de la que la materia, el movimiento, el calor, la luz, son otras tantas manifestaciones.

Poco importaría mi opinión, si no fuera por ser justamente la que mejor conviene al asunto que tengo entre manos. Se trata, en efecto, de definir la física tal como es actualmente, y no como debiera ser a juicio del definidor. He pasado mi ya larga vida leyendo cosas de física, en sus fuentes siempre que he podido. A menudo he encontrado grandes, inmensas dificultades en entender lo que leía, pero ninguna por ser inadecuada mi formación filosófica, de donde se infiere que los libros de física están escritos para realistas ingenuos como yo, y que sus autores, en cuanto físicos, razonan como tales, aunque muestren opiniones filosóficas diversas cuando se ven en el trance de *definirse*.

---

(15) Henry Margenau: *The Nature of Physical reality*. MacGraw-Hill, 1950.



Los grandes físicos modernos, que están enteramente de acuerdo en lo que atañe a su especialidad, discrepan en sus opiniones metafísicas: Planck, Einstein, Sommerfeld, son realistas; Eddington y Weyl pueden reputarse de idealistas moderados; Bohr y Heisenberg muestran cierto matiz positivista; Mach, Frank y Bridgman son operacionalistas, y quedan aún los marxistas con su materialismo dialéctico (Langevin y Haldane).

Desde luego, la física es ciencia positiva, pero es dudoso que con el positivismo filosófico, tomado al pie de la letra, hubiese llegado a ser lo que es. En todo caso, la exageración del positivismo no ha traído sino inconvenientes, y el mejor ejemplo se encuentra en la química del siglo XIX. Creían los químicos en la ley de las proporciones constantes de Dalton, pero no aceptaban como cosa real la constitución discreta de la materia, por considerarla pura hipótesis. Se manejaban las ecuaciones químicas *como si* hubiera átomos, pero no se creía en ellos, y ya en el siglo actual decía Ostwald que la hipótesis atómica era tan indispensable en química como lejos se hallaba de la realidad. Ningún provecho resultó de esta actitud; por el contrario, muchas generaciones de estudiantes de química se han devanado inútilmente los sesos con la enrevesada ley de las proporciones múltiples y con la superflua noción de equivalente químico, por no utilizar de buenas a primeras los claros y sencillos conceptos de la teoría atómica.

Como dice Margenau (15), «muchos pensadores de reputación se han alistado en la brigada exterminadora que anda expulsando ruidosamente murciélagos metafísicos de los campamentos de la ciencia. Forman una muchedumbre útil, pero lo que exterminan no es la metafísica, sino la mala física». Del mismo autor tomamos la siguiente anécdota: «Paseaba el presidente Coolidge con su ayudante, y éste dice: "Veo que han pintado los tranvías en Detroit." A lo que replica el presidente: "Sí, cuando menos por este lado".» Si Galileo y Newton hubiesen tenido los mismos escrúpulos positivistas que Coolidge, es seguro que la ciencia física no existiría.

Ateniéndonos a nuestro realismo ingenuo, diremos que las ciencias naturales estudian los *fenómenos reales*. Para el vocablo fenómeno (de φαίνομαι, aparecer) vale la definición de nuestra Academia: «Toda apariencia o manifestación, así del orden mate-



rial como del espiritual». En cuanto a lo de real, que el lector de buen sentido entienda lo que mejor le parezca.

### *Leyes universales.*

Al examinar los libros modernos de física, se echa de ver que la descripción de cada fenómeno va acompañada de la definición, más o menos explícita y completa de las magnitudes que en él intervienen, y luego se enuncian las leyes fundamentales en que se basa la teoría en cuestión, tales como las de Galileo y Newton en mecánica, las de Clausius y Carnot en termodinámica, las de Descartes en óptica, las de Coulomb, Ampère, Maxwell, etc., en electrología, etc. Estas leyes se compendian en sendas fórmulas matemáticas que establecen relaciones funcionales entre las magnitudes. En tales fórmulas y en sus consecuencias se cifra todo el interés del físico, de donde resulta que del fenómeno en cuestión sólo se toma en consideración aquello que sea susceptible de medida. La belleza, la bondad, la utilidad, no cuentan para el físico, y de las tres cualidades consideradas por Anaxágoras como primarias, tamaño, color y sabor, sólo la primera ha merecido ser magnitud física.

Las leyes físicas que importan son las *universales*, lo cual vale tanto como decir que son aplicables a todos los cuerpos, sin más que dar valores convenientes a determinados parámetros característicos de cada uno, valores que se encuentran en tablas fuera del texto, y que sólo se utilizan cuando se trata de aplicar las leyes a casos particulares. Así, se puede escribir toda la mecánica sin mencionar un cuerpo particular, y sólo cuando hay que resolver un problema concreto hay que buscar en las tablas los valores de las densidades, de los coeficientes de elasticidad, etc.

Si sometemos a igual inspección los libros de otras ciencias, podrá ocurrir que encontremos también fórmulas matemáticas con magnitudes tomadas de fenómenos reales, pero, o no son universales o, si lo son, proceden de la física y sólo se encuentran en las ciencias mixtas, como la astrofísica, la geofísica y la química física. He aquí hallado el rasgo distintivo: la física *busca* leyes universales entre magnitudes susceptibles de medida. Las demás ciencias naturales, desde la astronomía hasta la psicología, *utilizan* dichas leyes.



*Física y biología.*

La posición de la física con relación a la biología merece comentario aparte. Nadie duda, puesto que la experiencia directa lo revela, que los organismos vivos están sometidos a las leyes de la mecánica. Nadie, por ejemplo, si no es mediante un milagro, puede sustraerse a la acción de la gravedad, y no hay ejercicio acrobático que viole las leyes que la mecánica establece entre masas y fuerzas. En el mismo caso están los fenómenos ópticos y los eléctricos; en el ojo se cumplen las leyes de Descartes lo mismo que en cualquier medio transparente; en las corrientes eléctricas se miden intensidades, fuerzas electromotrices, resistencias, calores desprendidos, descomposiciones electrolíticas, etcétera, y no se encuentra ningún caso en que falle alguna de las leyes de la electrología. También se cumple en los organismos el principio de la equivalencia entre el calor y el trabajo y en él se basan todos los estudios relacionados con el metabolismo energético.

Las dudas comienzan cuando se trata de saber si los seres vivos están sometido o no al segundo principio de la termodinámica, ese principio que, mediante la noción de entropía, permite marcar el sentido en que ha de evolucionar cualquier sistema físico. El matemático Fantapié, en unas conferencias que dió en Madrid hace algunos años, y en su reciente intervención en las reuniones de Ginebra (16) del último mes de septiembre, niega que haya tal sumisión, y como argumento hace referencia a la ecuación de ondas de la mecánica cuantista, pero en tal forma que no logró convencer a nadie.

La cuestión ha sido abordada por Schrödinger (4), el genial creador de la mecánica ondulatoria. Sostiene la tesis de que los organismos no pueden sustraerse a la obediencia del segundo principio de termodinámica, pero al aplicarlo llega a conclusiones tan desatinadas que, de ser riguroso su razonamiento, la experiencia y el buen sentido nos llevarían a afirmar lo contrario.

No es esta ocasión de examinar a fondo el problema. Me limitaré a decir que no puede aducirse un solo hecho que esté

---

(16) *L'homme devant la science*. Recontres Internationales de Génève, septiembre 1953.



en contradicción con dicho principio y que, por el contrario, si se aplica correctamente, se llega a consecuencias muy interesantes para la biología. Si, por ejemplo, se pregunta: ¿es cierto que la gallina da calor a los huevos que incuba?, es seguro que la respuesta, si se da de buena fe, será afirmativa, y es la que obtuve de bien documentados biólogos. Pues bien: el segundo principio exige lo contrario (17), y, en efecto, puede medirse el calor que cada pollito encerrado en su huevo manda a la gallina que lo empolla, calor que tiene que expulsar para que no crezca excesivamente su entropía, y que resulta ser igual a las *calorías perdidas* que traen de cabeza a los biólogos y dan ocasión a discusiones sin fin y a teorías dispares (18).

Los físicos que García Bacca (19), con gráfica frase califica de «entrometidos en la biología», afirman que los seres vivos no constituyen excepción en lo que a la validez de las leyes universales de la física se refiere. No son como esos suburbios en que, pasando cierta hora, ya no tienen efectividad las leyes urbanas. Pero, como hace notar el propio Schrödinger, ello no implica que todos los fenómenos vitales pueden explicarse y deducirse con dichas leyes, según se aclara con el siguiente ejemplo:

Un ingeniero que no conozca sino las máquinas térmicas, al examinar la construcción de una máquina dínamo-eléctrica, deducirá que tal artefacto ha de funcionar de acuerdo con leyes que le son desconocidas. Está acostumbrado a ver el cobre en calderas, y ahora se encuentra con alambres arrollados en carretes, por los que aparentemente no pasa nada; el hierro, en vez de formar cilindros, bielas y manivelas, constituye el núcleo de unos carretes de alambre. No dudará que se trata del mismo cobre y del mismo hierro, sujetos a leyes naturales que ya conoce, pero la diferente construcción de la máquina le inducirá a pensar que su funcionamiento ha de ser enteramente distinto de cuanto él ha estudiado, y en ello está en lo cierto. Pero, al ver que la dínamo empieza a dar vueltas sin más que apretar el botón, sin horno ni vapor, no se le ocurrirá pensar en un fantasma, sino en algo que está fuera de lo que él conoce.

---

(17) Julio Palacios: *De la Física a la Biología*. Insula, Madrid, 1945.

(18) Véase, por ejemplo, Samuel Brody: *Biogenetics and Growth*. Reinhold, Nueva York, 1943.

(19) Juan David García Bacca: *Theoria*, núms. 3 y 4. Madrid, 1953.



La ciencia física se atiene a lo que puede medirse, y prescinde de lo demás. En esto radica su fortaleza, pero también su lastimosa limitación. Fuera de ella queda todo lo que atañe a la moral, a la justicia, a la libertad y, quizá por eso, al adelantarse la física a las ciencias sociales, hemos llegado a esta situación angustiosa, que a todos preocupa, y que, con su habitual maestría, ha descrito Eugenio d'Ors (20).

*Mi primera papeleta para la Academia.*

Los libros de física, y hasta las enciclopedias, pueden escamotear las definiciones, pero los diccionarios no. Por eso, sintiendo ya la responsabilidad del puesto que me habéis otorgado, voy a empezar mi nuevo oficio trayendo un proyecto de papeleta. La experiencia adquirida en cabeza ajena me advierte que sería inútil empeñarme en hacer algo irreprochable, pero me servirá para que los reparos que se le pongan sean diferentes de los que yo he puesto a las definiciones que se hallan en circulación (21).

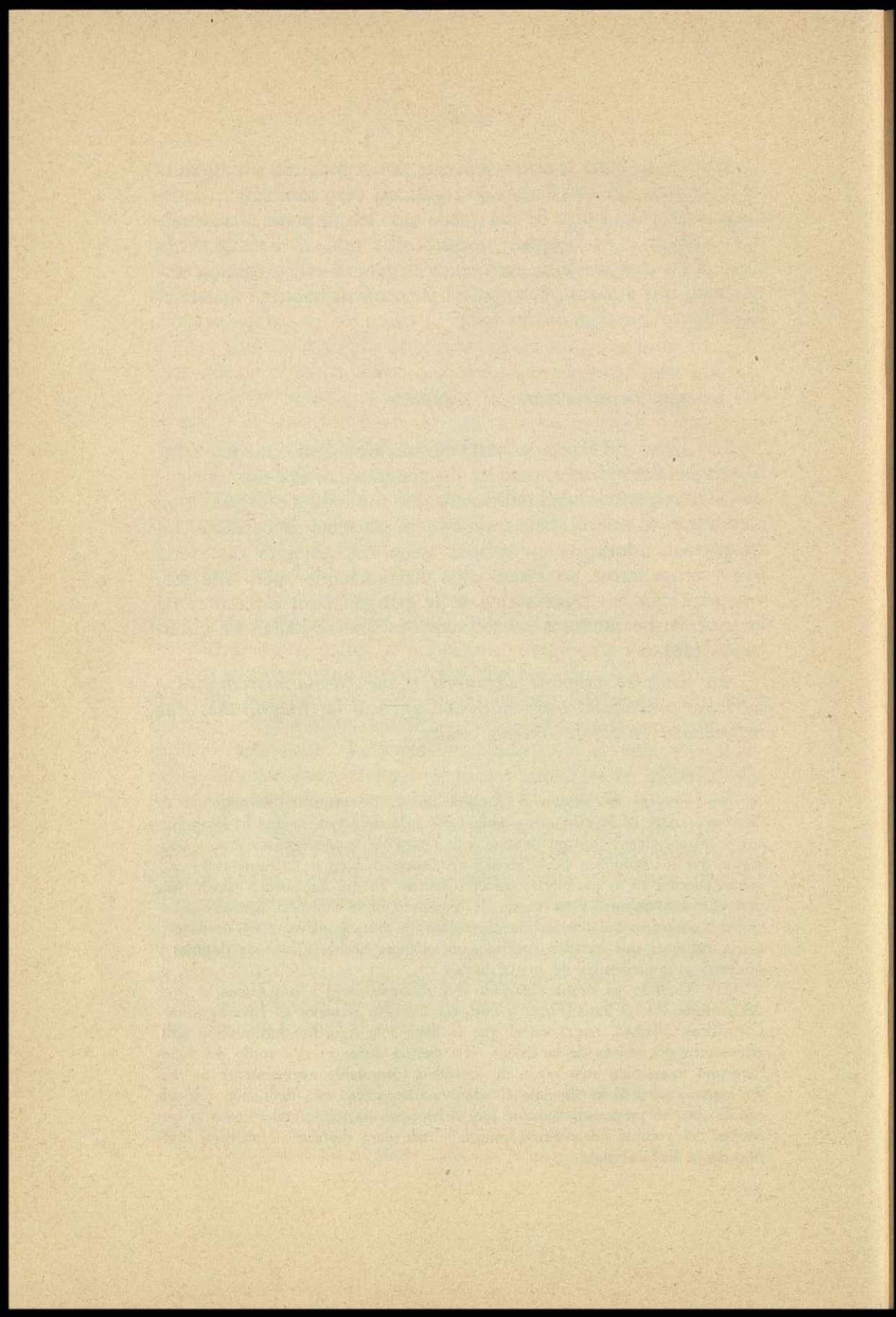
*La física se propone descubrir y dar forma matemática a las leyes universales que relacionan entre sí las magnitudes que intervienen en los fenómenos reales.*

---

(20). *Progres Technique et Progrès moral*. «Recontres Internationale de Génève», 1947. La lección que podría sacarse de todo esto es que, si los políticos y los sociólogos quieren ponerse a la altura de la moderna ciencia, y conseguir que los progresos de la técnica redunden en bien de la humanidad, debieran adoptar en lo posible los métodos físicos. Ya que no pueden medir, que procedan con mesura, y no traten de imponer por la violencia sistemas políticos y económicos basados en elucubraciones sin base positiva. ¿No revela evidente atraso el que circulen doctrinas sociológicas hechas a base de dogmas y profecías e impregnadas de materialismo?

(21) Cuando ya estaba redactado este discurso, llega a mis manos el libro del profesor Carlos París (*Física y Filosofía*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid, 1952), en el que se llega a la siguiente formulación epistemológica del objeto de la física: «La ciencia física es el estudio del fenomenismo inorgánico bajo razón de legalidad formulable normalmente de modo matemático.» Si se suprime el adjetivo inorgánico, esta definición coincide con la que he propuesto, aunque hay diferencias de matiz, tales como la que resulta del vocablo «descubrir», puesto adrede para destacar el realismo ingenuo de la física actual.







## SEGUNDA PARTE

### LA MAGNITUD FÍSICA

#### *El léxico de la física.*

Pasad la vista por el índice alfabético de un tratado cualquiera de física; veréis que, salvo los nombres más o menos estrambóticos de algunos aparatos (picnómetro, ludión, espinterómetro en libros viejos; betatrón, ciclotón, magnetrón en los modernos), los cuales no forman propiamente parte del objeto de la física, los tecnicismos son muy escasos.

La física utiliza siempre que puede el lenguaje ordinario, y los neologismos que de vez en cuando se ve en la necesidad de inventar suelen incorporarse rápidamente a la plática corriente. Citemos, por ejemplo, las voces temperatura, gas, energía, electricidad y magnetismo.

Los médicos pueden utilizar un lenguaje hermético, inaccesible para los no iniciados; si los físicos quisieran hacer lo mismo, tendrían que formar frases repitiendo una media docena de vocablos, tales como: isótropo, isotérmico, entropía, entalpía, dieléctrico y multiplete; habrían de echar mano a los nombres bárbaros de ciertas unidades, como: watt (o vatio), volt (o voltio); o, en tanto no trasciendan al vulgo, recurrir a los imprescindibles neologismos de la física atómica: electrón, positrón, neutrón, neutrino y mesón. Por cierto que las hijas de la física, las ciencias aplicadas, no han heredado de su madre la austeridad en el lenguaje. Con frases gráficas os decía Terradas en su disertación que «el neologismo técnico es agresivo, y su invasión es comparable a la de un ejército enemigo que aspira a regir el



territorio patrio como derecho de conquista» y añadía que «tan sólo la radio había incorporado 5.000 neologismos al idioma inglés».

Aun ahora en que procedería buscar un nombre para los entes del microcosmos que, por comportarse a la vez como corpúsculos y como ondas no pueden ser ni lo uno ni lo otro, insiste Bohr en que se les siga llamando como hasta aquí, corpúsculos, porque es indispensable que nos sirvamos del lenguaje ordinario, del que aprendimos en nuestra infancia. Este lenguaje es el medio de comunicación que utilizamos para contar lo que nos pasa y describir nuestras relaciones directas con el mundo exterior. Es, en una palabra, el propio de quien cree ingenuamente en la realidad del mundo físico; por eso es indispensable en física y debe usarse sin restricciones.

Si bien la física utiliza términos vulgares, procura siempre evitar anfibologías, por lo que sería de esperar que su lenguaje, además de sencillo, fuese un modelo de precisión. Esta era mi creencia, pero en cuanto por razón de éste, mi nuevo menester, he querido convertirme en uno de esos lexicógrafos impasibles y neutrales, que con tanto tino y éxito está creando Julio Casares, he visto con asombro que sucede todo lo contrario. Se da el hecho curioso de que los físicos se entienden perfectamente entre sí, sin necesidad de precisar debidamente los términos que utilizan. Al revés, justamente, de lo que sucede entre filósofos y forenses, que no logran ponerse de acuerdo aunque sean los más capacitados para el buen manejo del idioma.

### *Las magnitudes físicas.*

Ya que hemos aceptado el oficio de definidores, lo primero que nos importa es saber qué cosas son las que se trata de definir, y, para ello, si hemos de ser consecuentes, habremos de atenernos a la definición que, mala o buena, hemos dado de la física. Según ella, el objeto de la física son las *magnitudes* que intervienen en los fenómenos reales y, por tanto, nuestro cometido quedará cumplido si acertamos a definir las tales magnitudes, primero el conjunto (género), y luego cada una por separado, mediante su diferencia específica.

Según el diccionario de la Real Academia Española, la pa-



labra magnitud tiene tres acepciones: «Tamaño de un cuerpo// 2. fig. Grandeza, excelencia o importancia de una cosa// 3. Astron. Tratándose de estrellas, su tamaño aparente, por efecto de la mayor o menor intensidad de su brillo.» Al leer esto quedo perplejo, porque ninguna de las tres acepciones sirve para el caso. Durante años y años he estado utilizando la palabra magnitud en lecciones y escritos, sin sospechar que le daba un sentido no reconocido por la Academia. Mi inquietud crece al recordar que, en los idiomas cultos, lo que yo he estado llamando magnitud se denomina *grandeur*, en francés; *grandezza*, en italiano; *grandeza*, en portugués; *Grösse*, en alemán; *groot*, en holandés, y *quantity*, en inglés. La palabra magnitud se utiliza exclusivamente en su acepción astronómica en todas las lenguas romances.

En vista de cómo se expresan los físicos en otros idiomas, ¿debiera haber dicho grandeza en lugar de magnitud? Ni pensarlo, porque, aparte de que hubiera sido cosa insólita, grandeza según nuestra Academia es: «El tamaño excesivo de una cosa respecto de otra del mismo género// 2. Majestad y poder// 3. Dignidad de grande de España// 4. Conjunto o concurrencia de los grandes de España// 5. Extensión, tamaño, magnitud.» De todas estas acepciones, la única pertinente es la última, y ella nos vuelve justamente al punto de partida.

Muchas veces me llamó la atención el hecho curioso de que los ingleses dijese *quantity* por magnitud, y *magnitude* por cantidad y siempre creí que esta permutación tuviese origen anecdótico. Pero, pensándolo bien, se cae en la cuenta de que los ingleses han sido siempre excelentes humanistas, y es muy posible que, desde el punto de vista etimológico, la razón esté de su parte. Sigo esta pista y, en efecto, en nuestro diccionario encuentro lo que buscaba:

«Cantidad es todo lo que es capaz de aumento y disminución, y puede, por consiguiente, medirse o contarse.»

Quitad, por incongruente e innecesario, el «por consiguiente», puesto que el dolor, por ejemplo, puede aumentar y disminuir, pero no contarse ni medirse, y cantidad es justamente lo que yo, pobre de mí, he estado llamando magnitud.

El pleito ha sido fallado en contra mía, pero culpable no quiere decir arrepentido. Como todos los reos, trato de encontrar cómplices, y, por cierto, que los hallo de gran valía. Son todos



mis colegas, no sólo los físicos sino también los matemáticos españoles, y como prueba de mi aserto bastará citar dos autoridades de primera calidad:

Terradas, en su disertación de ingreso en la Academia, página 99, dice: «para medir las *magnitudes* eléctricas y magnéticas es preciso adoptar arbitrariamente una cierta unidad» y Ricardo San Juan ha escrito todo un libro dedicado a las magnitudes (22).

Estamos ante un caso peliagudo; la Academia, seguramente con buenas razones, fijó los significados de las palabras magnitud y cantidad, y los físicos, con rara unanimidad, los han alterado. Es de esperar que, ante el hecho consumado, transija la Academia con el trueque. Confiando en que así sea, continuaré empleando las palabras magnitud y cantidad con el significado que tienen en los libros españoles de física.

Los físicos, que empleamos a troche y moche el vocablo magnitud, raramente nos servimos de la palabra cantidad; y esta animadversión es compartida por nuestros colegas extranjeros. En todos los idiomas romances se encuentra el vocablo hermano de nuestra «cantidad» y en los respectivos diccionarios se definen, poco más o menos, como en el nuestro. Pues bien; salvo en los libros ingleses, es rarísimo encontrar la palabra equivalente a cantidad si no es en las tres locuciones siguientes: cantidad de movimiento, cantidad de calor y cantidad de electricidad, y como se tiende a sustituir la primera por la voz impulso o por ímpetu y a suprimir la palabra cantidad en las otras dos, resulta que se puede escribir todo un libro de física sin hablar para nada de cantidades.

Las tres locuciones en que vive, y ya de precario, la voz «cantidad» son a modo de vestigios que pueden darnos la clave de cómo se ha producido en el lenguaje físico esta singular desviación de las normas académicas. Eran precisos dos vocablos: uno para designar genéricamente los valores que las cosas susceptibles de medida tienen en cada cuerpo; otro para significar, también genéricamente, los entes abstractos que resultan al desligar las cosas medibles de los objetos en que se encuentren. Para lo que se refiere a cada cuerpo, uno por uno, se adoptó el

---

(22) Ricardo San Juan: *Teoría de las magnitudes físicas y sus fundamentos algebraicos*. Revista de la Real Academia de Ciencias, 1945.



vocablo cantidad; para el ente abstracto optaron los físicos españoles por magnitud, y los extranjeros prefirieron los derivados de *grandis*.

Concretando, la definición que la Academia da para la cantidad, vale en física para la magnitud, pero conviene suprimir lo de «capaz de aumento y disminución», que ni pone ni quita; es irrelevante. Se llega así a la siguiente definición:

*Magnitud. Fís. Todo lo que sea medible.*

*Cantidad de una magnitud. Fís. Estado particular o valor con que la referida magnitud existe en determinado objeto o interviene en determinado fenómeno.*

Ciertas cantidades poseen nombres especiales, y, a veces, con gran riqueza de matices: distancia, anchura, largura, altura y hondura son cantidades de longitud; duración, período, y lapso son cantidades de tiempo. Aún hay quien, de acuerdo con Newton, llama masa a la cantidad de materia, cosa inadmisibile según se verá más adelante.

En rigor, siempre que se trata de una magnitud en sentido concreto, esto es, en relación con determinado fenómeno, debiera ir precedida de la palabra cantidad, pero con ello el lenguaje físico se convertiría en insoportable cantinela. La ley de la inercia, por ejemplo, habría de enunciarse así: la cantidad de ímpetu es proporcional a la cantidad de fuerza y a la cantidad de tiempo. Basta oír este desdichado párrafo para caer en la cuenta de que la supresión sistemática de la palabra cantidad es cosa de buen gusto, y puesto que, con ello, nada se pierde ni en precisión ni en claridad, ha de darse por lícito. Pero es preciso no olvidar que las leyes físicas no son relaciones entre las magnitudes como entes abstractos, sino entre las cantidades con que dichas magnitudes intervienen en el fenómeno respectivo.

#### *Las definiciones cualitativas o epistémicas.*

Nuestras ideas proceden de las sensaciones. De la contemplación de los fenómenos nace el concepto de cada una de las magnitudes físicas mediante un proceso de abstracción que consiste en prescindir de los cuerpos materiales y de las demás magnitudes. Al elaborar el concepto se hace también abstracción de la cuantía con que la magnitud se hace presente en cada caso



particular, por lo que los conceptos no son cuantitativos, sino cualitativos.

La expresión verbal del concepto de una magnitud será su definición cualitativa. Interesa al físico en primer lugar porque le proporciona el criterio para identificarla cada vez que tope con ella, y, además, porque la precisión en las definiciones es condición indispensable para que pueda entenderse con sus colegas.

¿Qué tipo de definición conviene a las magnitudes físicas? Según nos enseña Casares, hay que distinguir entre la definición real y la meramente nominal; la primera pretende descubrirnos la naturaleza, la esencia de la cosa significada. Con arreglo a la lógica, es la única definición verdaderamente científica, y ha de contener el género próximo y la diferencia específica. Para lograrla en cada caso particular, será preciso formar una cadena de definiciones que, empezando por abarcar la colectividad de todo aquello que es objeto de nuestro lenguaje, nos lleve, por discriminaciones sucesivas hasta aquello que se trata de definir.

El rigor lógico exige que nada se de por definido, de donde resulta la imposibilidad de encontrar el primer eslabón de la cadena. Por otra parte, pretender que la definición contenga la esencia de la cosa definida, es entrar de lleno en el campo de la ontología, y la física se declara incapaz porque hasta los realistas ingenuos saben que hemos de contentarnos con lo que la realidad tiene de aparente (23). De uno u otro modo, lo mismo cuando se elabora un diccionario que cuando se escribe un libro de ciencia, hay que suponer que está destinado a quienes poseen ya cierto caudal de vocablos que no es preciso definir. En este supuesto, bastan las definiciones nominales, en las que se toman como género próximo y diferencia última vocablos que se suponen ya conocidos. Para definir, por ejemplo, el verbo croar, bastará decir que es el cantar de la rana, dando por supuesto que se conoce ya el significado de las palabras cantar y rana, y a un extranjero que nos pregunte en precario español qué es la yegua, podemos contestar «la yegua es la hembra del caballo» y esto bastará si ha aprendido el significado de las palabras hembra y caballo.

Las definiciones lógicas, por género y diferencia específica, pese a su rigor y precisión, nos dejan muchas veces insatisfechos. Decir, por ejemplo, que crotar es el ruido peculiar de la cigüeña

---

(23) Julio Palacios: *Esquema físico del mundo*. Ed. Alcor. Madrid, 1945.



nada nos dice acerca de cómo se produce, cómo suena y para qué sirve. Por eso es preferible añadir más rasgos distintivos, sean de orden genético, teleológico o meramente descriptivo.

En resumen, y en lo que a las magnitudes físicas se refiere, bastará en cada caso decir lo necesario para saber de qué se trata. Unas veces, como sucede con el espacio y el tiempo, basta el concepto que tenga cada cual, sin ser físico o antes de serlo. Otras, habrá que señalar la manera o maneras de manifestarse la magnitud en cuestión. Con decir, por ejemplo, que fuerza es todo aquello capaz de mover o deformar los cuerpos, queda lograda la definición cualitativa.

A las definiciones cualitativas conviene el nombre de *epistémicas* porque pueden enunciarse sin hacer uso de ninguna ley física.

### *Teoría matemática de la medida.*

En física no bastan las definiciones que hemos llamado cualitativas o epistémicas; es preciso, en cada caso, hacer ver la posibilidad de medir la cuantía con que la magnitud en cuestión interviene en cada caso particular.

La operación de medir es de importancia capital en física. El progreso en la técnica de las mediciones ha precedido siempre a los grandes descubrimientos científicos. Sin el refinamiento con que Michelson y Morley midieron la velocidad de la luz, no existiría la teoría de la relatividad; si los espectroscopistas no hubiesen medido las longitudes de onda con seis o siete cifras significativas, no habría nacido aún la física del átomo, y si el espectrógrafo de masas no hubiese permitido pesar los átomos con una precisión muchísimo mayor que la requerida al aquilatar piedras preciosas, la física nuclear estaría por hacer. Siendo así, es cosa curiosa que no hayan sido los físicos, sino los matemáticos quienes han elaborado una teoría lógica de la medida. Ello se debe a que, para los físicos, la cualidad de medible es un hecho comprobable experimentalmente, mientras que los matemáticos necesitan, para sus construcciones mentales, establecer rigurosamente los postulados en que se basa la medida de cada cantidad. Pero, la cosa tiene importancia, incluso en física, cuando se trata de hacer una teoría de las magnitudes (teoría en que ha de ba-



sarse el análisis dimensional, de tanta utilidad en la construcción y ensayo de aviones y navíos) y cuando se quiere precisar el lenguaje, que es lo que ahora nos incumbe. Vamos, pues, a exponer brevemente los fundamentos matemáticos de la medición, guiándonos por la excelente y original monografía de nuestro colega Ricardo San Juan, que ya hemos citado anteriormente.

La teoría matemática exige, como requisito previo para medir una cantidad, que se establezca el criterio de igualdad y se defina la suma.

El criterio de igualdad ha de poseer las siguientes propiedades, que se llaman *axiomas de la igualdad*:

1. *Carácter idéntico*.—El criterio de igualdad ha de contener el de identidad. Si  $A \equiv A$ , también  $A = A$ .
2. *Carácter recíproco*.—Si  $A = B$ , también  $B = A$ .
3. *Carácter transitivo*.—Si  $A = B$ ,  $B = C$ , también  $A = C$ .

Por suma se entiende una operación cualquiera que con cada dos objetos construye un tercero, y que cumple los siguientes requisitos:

1. *Propiedad uniforme*.—La suma de varias cantidades es única.
2. *Propiedad conmutativa*.—La suma es independiente del orden en que se toman los sumandos.
3. *Propiedad asociativa*.—Se pueden sustituir varios sumandos por su suma sin que, por ello, altere la suma total.
4. *Existencia del módulo*.—Hay una cantidad, llamada nula, que, sumada a otra cualquiera, la deja inalterable.

Al tratar de comprobar si es posible establecer los criterios de igualdad y definir la suma para todas las magnitudes físicas, me he encontrado con dos hechos desconcertantes. Medimos cantidades que no se pueden sumar, y utilizamos un lenguaje inadmisiblemente en buena lógica matemática. Todo ello me parece de tanta monta que voy a permitirme el exponerlo con algún por menor.

### *La igualdad en física.*

El diferente punto de vista en que se colocan físicos y matemáticos al considerar las magnitudes, hace que se expresen de



modo diferente, y que expresiones que son incorrectas en pura lógica matemática sean admisibles en física.

Para un matemático, la igualdad absoluta no existe, a no ser para un objeto consigo mismo. No puede decirse que dos objetos son iguales, sino que son iguales en relación a su peso, a su volumen, a su color, pues, por muchas que sean las relaciones de igualdad que se descubran, siempre será posible descubrir rasgos diferenciales, aunque haya que recurrir a su historia.

El físico, por el contrario, considera agotadas dichas relaciones cuando ha comprobado que ambos cuerpos se comportan del mismo modo en todos los experimentos pertinentes al caso, que siempre son en número muy limitado. Por eso tiene sentido físico el afirmar que todos los protones son iguales. y que dos cristales son o no son iguales.

En lógica matemática, aun dando por buena la existencia de los objetos materiales, independientemente de que los percibamos o no, las cantidades son el resultado de las medidas que en ellos realicemos, de donde resulta que las cantidades no son objetos entre los cuales puedan establecerse criterios de igualdad, por lo que no es propio decir que dos cuerpos tienen pesos iguales, sino que tienen el mismo peso, algo así como lo que ocurre con los números, que, o son diferentes, o son el mismo número.

Si en física hubiésemos de hablar con todo el rigor exigido por la lógica, nos encontraríamos a cada paso en grandes apuros. En vez de decir que «las fuerzas que se ejercen entre dos cuerpos son iguales y contrarias», habríamos de decir algo así como «la cantidad de fuerza que un cuerpo ejerce sobre otro es la misma que éste ejerce sobre aquél, pero contraria». ¿Y, cómo puede ser una cosa contraria de sí misma? Los tropiezos serían todavía mayores el tratar de leer en voz alta cualquier fórmula física. En vez de decir que «la fuerza es igual al producto de la masa por la aceleración», tendríamos que decir: «la cantidad de fuerza es *la misma* que la cantidad de masa por la cantidad de aceleración».

No hay que pensar en que los físicos se avengan a tan bombástico modo de hablar, por lo que, si no hubiera otro escape, es seguro que seguirían en situación de rebeldía con relación a los mandatos de la lógica. Tengo, sin embargo, la esperanza de que haya un arreglo. El lenguaje físico corresponde a lo que he lla-



mado realismo ingénuo, y la ingenuidad puede llevarse hasta el extremo de creer que las masas, las fuerzas, las distintas formas de energía, existen antes e independientemente de que los físicos las hayan definido y medido. Es cierto que no hay ni masas ni fuerzas desligadas de los cuerpos materiales, pero la imaginación es capaz de abstraerlas y de considerarlas como objetos a los que son aplicables las relaciones de igualdad con todos sus requisitos, con la ventaja de que no es preciso definir en qué consiste tal relación, puesto que es única y va involucrada en la definición epistémica de la magnitud en cuestión, pues como toda magnitud se define por algo observable, es obvio decir que dos objetos poseen igual cuantía de determinada magnitud cuando se obtenga el mismo efecto observable al actuar del mismo modo sobre uno y otro.

Séanos permitido aclarar lo que precede con un ejemplo. Los pesos de los diferentes cuerpos forman un conjunto homogéneo, pues están ligados afirmativa o negativamente por la relación que resulta de averiguar si producen o no el mismo alargamiento al colgarlos de un resorte. Como sería estafalario decir que «dos pesos son iguales con relación a su peso cuando producen el mismo alargamiento en un resorte», bastará decir que «dos pesos son iguales cuando...»

La consecuencia que sacamos de todas estas disquisiciones es que la física logra un lenguaje sencillo y suficientemente preciso a condición de que se atenga al realismo ingénuo.

### *La suma de cantidades físicas.*

Nunca he hecho a mis alumnos el agravio de suponer que no sabían sumar, aunque a menudo me aventajasen en esa rara habilidad que consiste en obtener sumas dispares con una columna de números bien puestos unos debajo de otros. Ha sido preciso que me vea en el trance de comparecer ante vuestras señorías para que me asalte esta duda: ¿existe la suma en física? Y, si no existe, ¿cómo podemos medir contraviniendo las reglas de la lógica matemática?

Ante todo, ¿qué es sumar?

Para los matemáticos es una operación cualquiera que cumpla tales y cuales requisitos. Esto es demasiado vago. En física



tenemos que precisar más, y creo que todos mis colegas estarán conformes en admitir que, para nosotros, la suma ha de tener *sentido físico*, y que, al establecerla, nos guiamos por el que pudiéramos llamar *criterio de equivalencia*, según el cual, los sumandos, para todos los efectos observables, han de poder ser sustituidos por la suma.

Examinemos ahora los requisitos que ha de cumplir la que podemos llamar suma por equivalencia. Ante todo, puesto que la suma se ha de caracterizar por determinado efecto observable en algún cuerpo, será preciso que los sumandos puedan reunirse en el mismo o existan ya en él. Cabe, pues, distinguir dos clases de suma.

a) *Suma por acumulación*.—Es aplicable a las *magnitudes aditivas o extensivas*, así llamadas porque la suma puede definirse por la simple reunión de los cuerpos que sirven de soportes a los diferentes sumandos. La suma de las masas de varios cuerpos se obtiene sin más que reunirlos en el platillo de una balanza. Criterio análogo, sustituyendo la balanza por artificios adecuados, puede seguirse con las diferentes formas de energía, con las cargas eléctricas y con los polos magnéticos.

Por sencilla que parezca esta que hemos llamado suma por acumulación, para darla por buena es preciso comprobar en cada caso que se cumplen los requisitos formales de la suma. Ello requiere, cuando menos, que exista la correspondiente *ley de conservación*, que nos asegure que la suma no cambia aunque se junten de cualquier manera los cuerpos en que se hallan las magnitudes que se han de sumar. Sin la ley de conservación de la masa, sería preciso especificar la manera de reunir los cuerpos para estar seguros de que su masa no se altera. Con tal ley quedan cumplidos los requisitos de conmutabilidad, uniformidad y asociabilidad.

Es curioso notar que la cantidad nula de electricidad existe en los neutrones, y que también hay cuerpos sin magnetismo, pero la masa nula, el módulo de la masa, no existe en ningún cuerpo físico; es lo que queda en el platillo de la balanza cuando se quitan todos los cuerpos que había.

b) *Suma por coexistencia*.—Esta definición de suma puede aplicarse cuando los sumandos se encuentran reunidos en un



mismo punto. Tal es el caso de las fuerzas aplicadas a un cuerpo. Sea recurriendo a postulados más o menos evidentes, sea como hecho experimental, puede admitirse que, tratándose de cuerpos rígidos y de fuerzas concurrentes, existe la suma, pero sólo en este caso.

Por ahora, no hay motivos para poner en duda la existencia de la suma de fuerzas concurrentes, pero conviene no darla como un hecho evidente por sí mismo. Es martirizar a los alumnos inteligentes el meterles en la cabeza, porque sí, el carácter vectorial de las fuerzas. La cautela está justificada con lo ocurrido con la velocidad. Para ella no vale la suma por acumulación, porque la velocidad de un cuerpo no se obtiene adicionando las velocidades de sus partes; la velocidad no es extensiva. Tampoco se concibe, de buenas a primeras, la suma por coexistencia, porque es imposible que un móvil se mueva a la vez de dos maneras; no puede tener simultáneamente dos velocidades y, presentada así la cuestión, resultaría que el problema de sumar velocidades no se presenta nunca. Sin embargo, el problema existe en el llamado movimiento relativo: un viajero anda por el pasillo de un tren con cierta velocidad,  $v_1$ , y el tren avanza con la velocidad  $v_2$ , ¿qué velocidad tiene el viajero con relación a la vía? La respuesta que se dió como evidente hasta hace poco era: el viajero avanza con la velocidad  $v_1 + v_2$ , que se obtiene sumando, a la manera aritmética, ambas velocidades. Esta definición de suma de velocidades puede completarse representando las velocidades por vectores, y entendiendo por suma el vector que cierra el polígono construído con los sumandos. La suma así definida reúne todos los requisitos exigidos por la lógica matemática, pues es única, conmutativa, asociativa y existe el módulo: el reposo relativo.

Pero la relatividad ha hecho que la precedente definición de suma no sirva. Si un avión marchase a razón de 150.000 kilómetros, y en su plataforma llevase un vehículo que rodara también a 150.000 kilómetros, la velocidad de este último no sería 300.000 kms., sino 240.000 kms. La suma de velocidades definida a la manera clásica no sirve en mecánica relativista.

Podrá pensarse en resolver la dificultad entendiendo por suma la velocidad resultante calculada con las fórmulas de la mecánica relativista. Tal resultante es única pero, ahora viene lo grave, no es conmutativa y, por tanto, no puede llamarse suma. La suma de velocidades no existe, y, sin embargo, medimos ve-



locidades a todas horas. Para explicar esta paradoja, tenemos que hablar de una suma a la que empezamos por dar un nombre paradójico.

*La suma por descomposición.*

En la suma de magnitudes físicas, lo real son los sumandos. El resultado, lo que llamamos suma, puede ser cosa ficticia, como sucede, por ejemplo, en la composición de fuerzas. En todo caso, puede definirse la operación inversa, esto es, dada una cantidad real, descomponerla en sumandos, y también puede ocurrir que éstos sean puras creaciones mentales, como sucede cuando se sustituye una fuerza por la suma de sus componentes según tres ejes coordenados. En estos casos, la descomposición exige como requisito previo la existencia de la operación de sumar.

A veces resulta muy útil en física descomponer en sumandos ciertas magnitudes aunque su suma no pueda definirse por un criterio de equivalencia. Esto ocurre con todas las magnitudes que pueden representarse mediante segmentos dirigidos. En un móvil, por ejemplo, admiten tal representación las velocidades y las aceleraciones y, si el movimiento es rectilíneo, también las distancias. Es evidente que recorrer un camino zigzagueando no es lo mismo que recorrerlo en línea recta, por lo que no tiene sentido decir que el camino rectilíneo sea la suma de los segmentos de cualquier línea quebrada que una sus extremos. Sin embargo, *para ciertos efectos*, por ejemplo, para el cálculo del trabajo en campos conservativos, son equivalentes ambos caminos, lo que permite considerar todo segmento rectilíneo como la suma, por ejemplo, de sus proyecciones sobre tres ejes coordenados tomados consecutivamente en un orden cualquiera. En otros términos: para los efectos mencionados, los segmentos rectilíneos pueden tratarse como vectores.

De modo análogo, pero *siempre y para todos los efectos*, la velocidad puede considerarse como la suma vectorial de sus proyecciones sobre los ejes coordenados, a pesar de no existir la suma de velocidades. Queda así de manifiesto la paradoja. La suma de velocidades reales no existe, porque la resultante obtenida mediante las fórmulas relativistas no es conmutativa y, sin embargo, cualquier velocidad puede considerarse como suma





vectorial de otras velocidades. La solución del enigma, a mi modo de ver, es que en estas descomposiciones, los sumandos son cosa ficticia, creaciones mentales definidas precisamente de modo que se cumplan los requisitos formales de la suma.

Lo que nos interesa es hacer notar que estas *sumas al revés* no sirven para decidir si algo es medible o no, pues la suma de velocidades *reales*, hallada por la regla del polígono, no coincide con la velocidad que, en virtud de la teoría relativista, adquiere el móvil.

Además de la velocidad, hay muchas magnitudes en las que no es posible definir la suma ni por acumulación ni por coexistencia. El que, a pesar de ello, sean medibles se explica en el apartado que sigue.

### *Las magnitudes derivadas.*

Hemos visto que un concepto no adquiere el rango de magnitud física mientras no se ha establecido su métrica, aunque sea mediante un postulado susceptible de confirmación experimental. Hay magnitudes que están exentas de este requisito. Son todas aquellas cuyas cantidades se definen como el resultado de realizar determinadas operaciones con otras ya definidas. Ejemplos son la velocidad, la densidad, el ímpetu, la impulsión, el trabajo mecánico y todas las constantes características de los cuerpos. Estas magnitudes no requieren definición epistémica, pues su concepto deriva de la prescripción o fórmula en que se expresan las operaciones a realizar.

Las fórmulas tales como :

$$v \equiv \frac{L}{T} \quad L \equiv f \cdot s$$

han de considerarse como identidades, en las que el primer miembro no es sino una representación abreviada del segundo. Por eso resulta adecuado decir que todas estas magnitudes lo son «por definición», y conviene ponerlo de manifiesto en cada caso. En la frase «la velocidad de un móvil es, *por definición*, el cociente de dividir la distancia recorrida por la duración», la locución subrayada indica que no se trata de un hecho compro-



bable, sino que, por convenio, se llama velocidad el resultado de efectuar la división indicada.

En la fórmula de definición está contenida la manera de medir estas magnitudes, de donde resulta que el criterio de suma no se postula, sino que deriva de dicha fórmula. Teniendo esto presente, evitaremos enfadosos e inútiles devaneos.

Ante la pregunta, ¿cómo pueden medirse velocidades sin saber decir lo que se entiende por su suma?, alguien, intoxicado por las sutilezas relativistas podría intentar resolver la cuestión con abstrusas especulaciones acerca del acortamiento de los cuerpos, retraso de los relojes, etc., etc., pero el problema puede plantearse en términos tan drásticos que el más impenitente embrollador se sienta descorazonado. ¿Dos y dos son cuatro o un poco menos de cuatro? La respuesta, naturalmente, es cuatro, incluso en la teoría de la relatividad, porque se ha respetado la métrica de las velocidades. Cada observador emplea sus metros y sus relojes, divide espacios por tiempos y, sin preocuparse de si se mueve o está quieto, llama velocidad al resultado.

Estas magnitudes, que caben en una fórmula de definición, pueden llamarse *secundarias*, *derivadas* o *compuestas*, porque su significado está subordinado al de otras magnitudes que han de haber sido definidas previamente. La distinción entre magnitudes primarias y secundarias tiene gran importancia, porque bastará dar la definición cuantitativa de las primeras para que queden automáticamente definidas las segundas.

### *La lógica positivista.*

En contra del realismo ingenuo que ha dominado en el campo de la física, se ha iniciado un movimiento revolucionario que, de salir triunfante, nos obligará, cuando menos, a alterar radicalmente nuestro lenguaje. Nos referimos al *positivismo lógico* del llamado círculo de Viena, patrocinado por el físico P. Franck, el matemático H. Hahn y el economista O. Neurath, que se basa en la *filosofía operacional* de Ernest Mach (1838-1916). El nuevo sistema ha logrado la adhesión de físicos tan renombrados como P. W. Bridgman, profesor de la Universidad de Harvard y Premio Nóbel, y para dar idea de lo que



pretende, bastará decir que Halliday (24) comienza su tratado de física nuclear con una breve exposición del mismo, por creerlo el más adecuado para penetrar en los misterios del microcosmos.

He aquí los rasgos esenciales del positivismo lógico:

1. Las cantidades tales como la longitud, la masa, la temperatura y la carga eléctrica de un cuerpo determinado no deben considerarse como cosas «cuya naturaleza es entendida intuitivamente»; han de definirse como el resultado objetivo de ciertas operaciones que, cuando menos en principio, han de poder ser realizadas en el laboratorio.

2. Las definiciones operacionales, lo mismo que todos los experimentos llevados a cabo en los laboratorios, conducen a un conjunto de datos instrumentales, tales como las lecturas por índices móviles sobre escalas (*point readings*). Estas lecturas, tomadas en su sentido más amplio, constituyen los «hechos irrefutables de la naturaleza». Aquellas cantidades para las cuales no pueda darse definición operacional, es decir, que no puedan reducirse a un sistema de lecturas, son «inobservables»; no pertenecen a la física.

3. Las leyes físicas son relaciones entre cantidades definidas operacionalmente, esto es, parecen quedar satisfechas cuando se realizan determinados experimentos.

4. El papel de la teoría se reduce a, mediante ciertas hipótesis, dar una descripción simple del mayor número posible de experimentos.

5. En la lógica positivista no hay lugar para conceptos tales como «verdad» y «realidad». Su propósito es lograr una descripción tan *económica* como sea posible de las percepciones sensoriales. Las mejores teorías son aquellas con las que se consigue mayor economía, por lo que, para los lógicos positivistas, economía es sinónimo de realidad.

### *Filosofía y lenguaje.*

Si hablar coherentemente es decir lo que se piensa, a cada forma de pensar corresponderá una forma de hablar. El lenguaje utilizado en física hasta ahora revela que se toma como

---

(24) David Halliday: *Introductory Nuclear Physics*, Wiley, 1950.



punto de partida la existencia de la realidad. ¿Qué ocurrirá si pensamos y nos expresamos de acuerdo con la lógica positiva?

Ante todo, la palabra magnitud (y sus equivalentes *grandeur*, *Grösse*, etc.) deberán ser desterradas de la ciencia, porque corresponden a entes abstractos; son inobservables. Deberíamos hablar tan sólo de cantidades, y no de cantidades de tal o cual cosa, sino adscritas o tal o cual cuerpo y obtenidas por tal o cual procedimiento. No se debería hablar de la masa de esta pluma o de la masa del Sol, sino de la masa de esta pluma medida con tal balanza, y de la masa del Sol calculada efectuando tales y cuales operaciones con estos o aquellos datos experimentales. El radio de un núcleo atómico no es ese concepto sencillo que evoca la palabra radio. Ante todo, no es *una* cosa, sino muchas cosas y muy complicadas, sólo inteligibles para físicos consumados. Porque de tal radio hay ya muchas definiciones operatorias, y puede darse por seguro que surgirán otras. He aquí algunas de las que ya están en uso: a), por la manera como se desbarata (*scattering*) un haz de partículas alfa al atravesar una lámina metálica; b), por el mismo fenómeno realizado con neutrones rápidos; c), a partir de la energía de ligadura de los núcleos especulares (*mirror nucleids*); d), por la semivida de los núcleos emisores de partículas alfa. Estos enunciados no son, todavía, las definiciones operacionales; son abreviaciones para designarlas. Su exposición completa, aunque se destinase a mis alumnos de la Facultad de Ciencias, llevaría mucho tiempo y mucho esfuerzo.

Y la complicación del lenguaje sería lo de menos comparada con el trastorno que la lógica positivista introduciría en nuestro modo de razonar. Porque, si la locución «radio nuclear» ha de significar cada uno de los sistemas, variados y complejos, de lecturas hechas en tales o cuales aparatos, y no otra cosa, cuando quiera plantear nuevos experimentos no deberé, por ser anti-científico, imaginar que todo ello se refiere al radio de una esfera muy pequeña.

Por grande que fuese la perturbación que la lógica positivista introdujese en nuestro pensamiento y en nuestro lenguaje, habría que aceptarla si de ello se derivase alguna ventaja. ¿Es que tal filosofía nos ayuda a comprender los enigmas del microcosmos? ¿Entenderemos con su auxilio el que los átomos se



comporten a la vez como ondas y como corpúsculos? No, por cierto; y no hay esperanza de que alguna vez se consiga, porque la lógica positivista no lo pretende siquiera. Se resuelve la dificultad cortando por lo sano. No se puede hablar del átomo ni como corpúsculo ni como onda, porque los átomos no son observables; son meras hipótesis. Se puede hablar de masa del átomo, de su energía cinética, de su ímpetu angular, de la longitud de la onda asociada, de las frecuencias de sus rayas espectrales, de su momento magnético, del número de electrones, protones y neutrones (hipotéticos también) que contiene en su núcleo, y de innumerables atributos que los físicos descubren, definen y miden o cuentan con admirable precisión.

«Del lobo un pelo» basta a nuestro más suspicaz campesino para creer en la alimaña sin verla. Ni con mil pelos y señales tiene bastante el lógico positivista para creer en el átomo y, si emplea esta palabra, es, según advierten, para economizar tinta y saliva, aunque en realidad sea porque no tienen más remedio, como los químicos del siglo pasado. Los mejores físicos contemporáneos, con Schrödinger y Bohr a la cabeza, se esfuerzan en hacer inteligible lo que ocurre en el mundo subatómico. Los lógicos positivistas resuelven la cuestión de modo drástico; no hay tal problema, porque esos corpúsculos y esas ondas no pueden entrar en la ciencia con personalidad propia; no son más que una manera condensada de referirse a una porción de observaciones realizadas con aparatos muy variados, tales como la cámara de Wilson, los tubos de Geiger-Müller, el microscopio electrónico, y otros muchos que sería prolijo enumerar. Atribuir todo ello a la existencia de los corpúsculos-ondas es salirse de los «hechos irrefutables» y crear falsos problemas.

La primera dificultad con que se tropieza al aplicar la lógica positivista consiste en admitir los atributos y no la existencia de algo que les sirva de soporte. Por otra parte, a pesar de su empiricismo, no está claro lo que ha de entenderse por definiciones operacionales. Al principio parecía que se trataba exclusivamente de operaciones *experimentales*, de lo que se hacía al pie de los aparatos de medida. Pero luego ha hablado Bridgman (25) de operaciones hechas con papel y lápiz, y hasta de

(25) P. W. Bridgman: *The Nature of Physical Theory*. Universidad de Princeton, 1936.



operaciones mentales, con lo que ya queda muy poco del primitivo positivismo.

Nació el positivismo lógico con la buena intención de prevenir la creación de teorías vanas. Hay que reconocer que si los físicos se atuvieran a los preceptos de la lógica positivista, es seguro que no descarriarían jamás. No se expondrían al percalce de que fué víctima nada menos que Bohr por inventar una teoría en que se comparaban los átomos a sistemas solares en miniatura, y se hablaba de órbitas, radios, coordenadas y demás zarandajas que luego hubo que abandonar. Esto, según los positivistas, debe servirnos de escarmiento para no incurrir nuevamente en la ligereza de razonar con cosas inobservables. El consejo no puede ser más atinado; tan atinado y seguro como el quedarse sentado para no tropezar. Si los físicos se hubieran atendido a él, es dudoso que hubiesen dado un paso, pues, hasta cuando Galileo enunció la ley de la inercia, añadió a sus datos experimentales buena dosis de inobservables, entre otras el movimiento rectilíneo y uniforme de un cuerpo libre de toda acción exterior. Desde luego, la genial idea de Bohr hubiese quedado inédita si hubiese sido presentada a la censura previa de la lógica positivista, con lo cual no existiría la mecánica ondulatoria.

Nada tan exclusivo del ser inteligente como el don de errar. Las máquinas calculadoras, los llamados cerebros electrónicos, pueden estropearse, pero no equivocarse; son modelos de lógica positivista. Para errar hay que saber pensar, y como el que tropieza y no cae adelanta un paso, puede decirse que la ciencia avanza a fuerza de tropezones. No hay descubrimiento sin aventura.

Ahí está, flotando en la historia, la pregunta de Pilatos: ¿qué es la verdad? La lógica positivista elimina del pensamiento los conceptos de verdadero y de real, y se contenta con afirmar que las teorías son provisionalmente satisfactorias. Pues bien; yo no digo que la doctrina positivista sea verdadera ni falsa, pero, como físico, afirmo que no me satisface.

*¿Corresponde a cada magnitud una sola definición?*

Forma parte del espíritu profesional de los físicos la convicción de que utilizamos las palabras con un sentido claro y pre-



ciso, lo que no quiere decir que las definiciones sean siempre afortunadas. Por eso se dejó sentir la necesidad de que cada concepto se definiera de una sola manera, y aprovechando los períodos entre guerra y guerra, se reúnen los físicos para ponerse de acuerdo. La dificultad para conseguirlo estriba en que de una misma magnitud pueden darse muchas definiciones. Tomemos, por vía de ejemplo, algunas definiciones de la fuerza.

1. Todo lo que tira o empuja.
2. Lo que es capaz de estirar o de comprimir un resorte.
3. Lo que es capaz de equilibrar un peso.
4. La lectura efectuada en un dinamómetro.
5. Un agente que modifica el movimiento rectilíneo y uniforme de los cuerpos.
6. Producto de la masa por la aceleración.
7. Cambio que experimenta el ímpetu de un móvil cada unidad de tiempo.

8. Gradiente de la energía potencial cambiado de signo.

La primera definición es muy del gusto de arquitectos e ingenieros. Lo mismo que las dos siguientes, es una definición epistémica; se limita a evocar la sensación muscular que se experimenta al realizar a mano cualquiera de las maniobras que en ellas se especifican. Por eso tiene cabida muy acertadamente en los libros elementales, y el propio Sommerfeld (26) la utiliza en su magistral libro de mecánica: «La sensación muscular da una representación inmediata, por lo menos cualitativa, del concepto de fuerza.»

La definición 4 ha de parecer irreprochable a todo lógico positivista, pues es el prototipo de definición instrumental. La 5 goza de gran prestigio entre quienes se complacen en poner de manifiesto el error en que incurrió Aristóteles al distinguir entre movimientos naturales (sin fuerza) y movimientos forzados. La 6 fué introducida por Kirchhoff, y es la preferida por muchos físicos que consideran que la única manera de definir una magnitud es dar una fórmula para medirla. Quienes quieren librarse de las objeciones que la teoría de la relatividad presenta a la definición 6, la sustituyen por la 7. Finalmente, la definición 8, complicada con alusiones a las funciones de Lagrange o

---

(26) A. Sommerfeld: *Vorlesungen über theoretische Physik*. Klemm, Wiesbaden, 1948.



de Hamilton, tiene lugar adecuado en los tratados algo superiores de dinámica.

¿Cómo encontrar normas que permitan seleccionar una entre las múltiples definiciones que pueden darse de cada magnitud? Mucho se ha escrito acerca de esta cuestión a pesar de haber sido planteada recientemente. Quien se interese por estos asuntos leerá con provecho el libro de Carnap (27). Yo no pretendo ni siquiera hacer un resumen, sino, dándome cuenta de lo temerario de la empresa, exponer mi punto de vista, que deriva de mi convicción de que el realismo es la filosofía propia del físico. Adoptada esta postura, se pueden ya eliminar, por degeneradas, las definiciones instrumentales del tipo 4.

Partimos, pues, del supuesto de que existen cuerpos materiales, de que las magnitudes físicas existen en ellos y se manifiestan por determinados efectos observables. Pues bien; el primer paso para lograr la definición de una magnitud será mencionar o describir la manera o maneras de manifestarse. En esto consiste la definición cualitativa o epistémica, que será suficiente cuando, por ejemplo, se trata de hacer un diccionario.

Con arreglo a esta norma, quedan eliminadas las definiciones 6, 7 y 8 que, por no atender sino al aspecto cuantitativo (y esto de modo deficiente) son definiciones mutiladas, que degradan el concepto de fuerza reduciéndola a la categoría de magnitud secundaria.

Quedan, como viables, la 1, 2 y 3. Cualquiera vale desde el punto de vista pedagógico, porque todas sirven para crear el concepto de fuerza, y cada autor podrá utilizarlas, conjunta o separadamente, luciendo con ello sus dotes de pedagogo. Pero si se quiere precisar, se echa de ver que ninguna es satisfactoria, porque todas convienen igualmente bien a fuerzas y a cosas que no son fuerzas; sería fuerza el calor, puesto que deforma los cuerpos; y un combustible cualquiera, o el agua de un embalase, ya que con ellos y artificios adecuados se puede alterar el movimiento de los cuerpos. Pronto se echa de ver que esta falta de discriminación procede de la falta de género próximo en la definición. La falta se remedia diciendo:

---

(27) R. Carnap: *Physikalische Begriffsbildung*. G. Braum, Karlsruhe, 1926.



*Fuerza en física es aquella magnitud dirigida que es capaz de deformar los cuerpos o de alterar su movimiento.*

En este tipo de definición se afirma algo que puede ser cierto o falso, pues se dice que la fuerza es una magnitud, con lo que se supone que es cosa susceptible de medida, y se añade que es dirigida, cualidad que sólo conviene a cierta clase de magnitudes previamente definidas, y que en este caso sirve para eliminar el calor. No es esta novedad que pueda escandalizar a nadie. Al definir la ballena empezando por decir que es un mamífero, se hace una afirmación bajo la responsabilidad de alguien que afirma haber visto mamar a un ballenato. Del mismo modo, al decir que la fuerza es una magnitud dirigida, se afirma un hecho bajo la responsabilidad de los físicos que dicen haberlo comprobado. Y de que se trata de un postulado que pudiera no ser cierto, tenemos un ejemplo en la velocidad, magnitud que se tuvo por vectorial en la mecánica clásica, y que ha dejado de serlo en la relativista.

Afirman muchos físicos que las magnitudes no quedan bien definidas si no se describen las operaciones que es preciso realizar para medirlas, aunque sólo sea de un modo teórico, esto es, sin necesidad de que tales operaciones sean realizables en la práctica (28). Esto equivale a confundir la ballena con la manera de indagar si es o no un mamífero. Lo cierto es que cuando de una magnitud primaria se logra una definición como la dada para la fuerza, se considera que la cosa está ya resuelta satisfactoriamente (29). Ello es consecuencia del realismo ingenuo peculiar de la física. Se cree en la existencia real de las fuerzas y ante esta realidad son cosa secundaria los diversos métodos utilizados para medir su cuantía en cada caso particular. Trátese de las fuerzas que encorvan las órbitas planetarias, o de las que provocaron la aglomeración de los corpúsculos en los átomos, siempre se miden cuantías de la magnitud llamada fuerza. Ahora

---

(28) Sommerfeld (loc. cit.) dice: *Wortdefinitionen* sind Inhaltteer; *Realdefinitionen* erhalten wir durch eine Messvorschrift, die zunächst nur theoretisch, nicht unbedingt praktisch durchführbar zu sein braucht.

(29) En el Vocabulario Electrotécnico Internacional, publicado recientemente por José Antonio de Artigas (Comisión Permanente Española de Electricidad, Madrid), la fuerza, la cantidad de electricidad, el magnetismo y demás magnitudes primarias se definen epistémicamente, sin hacer referencia a los métodos de medida.



estamos en condiciones de responder a la pregunta que encabeza este apartado. Toda definición de una magnitud primaria ha de contener el efecto observable que la caracteriza. Si el efecto es único, también será única la definición.

### *Definiciones equivalentes.*

De acuerdo con nuestras normas, la pluralidad de definiciones sólo podrá presentarse cuando la magnitud en cuestión se manifieste de dos o más maneras. Este es justamente el caso de las fuerzas, que se manifiestan, o por producir deformaciones (efecto estático), o por alterar los movimientos (efecto dinámico). Cada uno de estos efectos conduce a un criterio de igualdad, y pueden presentarse dos casos:

a) *Los criterios de igualdad son equivalentes*, esto es, dos cantidades iguales con arreglo al primer criterio son también iguales respecto del segundo. Cuando esto suceda, será indicio de que, o se trata de una sola magnitud, o de dos magnitudes *inseparables*, esto es, que van siempre unidas en cuantías proporcionales. El primer caso se presenta con las fuerzas, pues pueden producir, alternativamente, deformaciones o movimientos; el segundo ocurre, según se verá más adelante, con las dos especies de masa, la inerte y la gravitatoria. En todo caso, el decidir si se trata de una o de dos magnitudes, no puede hacerse por vía epistémica; hay que echar mano de alguna ley física. La unicidad de las fuerzas, por ejemplo, resulta de la tercera ley de Newton, igualdad de la acción y de la reacción. El que la masa inerte y la gravitatoria sean magnitudes inseparables es consecuencia de la ley de la gravitación.

b) *Los criterios de igualdad no son equivalentes*. Cuando esto suceda, es prueba de que se trata de dos magnitudes diferentes, cada una con su propia definición. Esto ocurre con los campos eléctricos, que se manifiestan de dos maneras diferentes: o por las fuerzas que ejercen sobre las cargas eléctricas o por la electrización que producen en los cuerpos. Estos efectos conducen a sendos criterios de igualdad que no son equivalentes, pues puede suceder que dos campos que originan fuerzas iguales sobre una misma carga eléctrica, electricen de distinto modo los cuerpos que en ellos se coloquen. De aquí que sea preciso



definir por separado dos magnitudes diferentes, que son la intensidad y la inducción, de las que pueden darse definiciones epistémicas sin más que atenerse a los respectivos efectos observables. Por cierto, que es cosa lamentable el que suela omitirse la definición epistémica de la inducción, lo que es causa de que resulte difícil el adquirir idea clara de su significado físico. En el campo magnético hay que distinguir también dos magnitudes, una que deriva de la fuerza que ejerce sobre imanes, y otra de la facultad de imanar los cuerpos que allí se coloquen.

De este análisis resulta que *a cada magnitud corresponde una sola definición epistémica, si bien puede ocurrir que, como consecuencia de alguna ley física, se fundan en una sola dos magnitudes epistémicamente diferentes.*

#### *Las mediciones.*

Una vez definida la suma, basta adoptar una unidad cualquiera para poder medir cantidades de la magnitud en cuestión. El resultado de la medición es un número puro, que se llama *medida* (30).

En la expresión: *Altura de la Giralda = 100 metros*, el primer miembro es la cantidad a medir, en este caso una longitud; la unidad es el metro, y la medida el número 100. En general, de modo simbólico: *Cantidad = medida × unidad.*

Conviene distinguir claramente entre las cantidades y sus medidas. Hablando como realistas ingenuos, podemos decir que la altura de la Giralda existe aunque nadie la hubiese medido. La medida resulta de determinadas operaciones, y varía según la unidad que se utilice. El positivista parte de las medidas, y con ellas crea las cantidades. Para él, la altura de la Giralda nació en el momento en que alguien la midió por vez primera, y renace cada vez que cualquiera la vuelve a medir, aunque sea a ojo; vive con diferentes maneras de ser en la mente de cada

---

(30) Cada vez que utilizo esta palabra me asalta un recelo. Nuestro diccionario, entre varias acepciones, dice que *medida* es la acción de medir, y *medición* la acción y el efecto de medir. En nuestro caso, se trata del resultado o efecto de la operación de medir, por lo que debiéramos decir *medición* y no *medida*. ¡Pero suena tan mal la frase «*la medición de la altura de la Giralda es de cien metros*»!



uno de sus medidores, y se extingue a medida que se va olvidando. Es, en fin, algo que recuerda la bella leyenda de las hadas que nacen cuando un niño escucha un cuento, y mueren cuando deje de creer en ellas.

*Las leyes universales.*

Si preguntáis a varios físicos qué significa la ecuación: fuerza = masa  $\times$  aceleración, es posible que obtengáis las siguientes respuestas:

a) Es la ley de la inercia enunciada por Newton, y expresa que la aceleración de un móvil es directamente proporcional a la fuerza que sobre él actúa y está en razón inversa de su masa.

b) Sirve para precisar el concepto de fuerza, definiéndola como el producto de la masa del cuerpo en que actúa por la aceleración que le imprime.

c) Define la masa de un cuerpo como cociente de la fuerza que se le aplica por la aceleración que adquiere.

He aquí tres puntos de vista plenamente justificados por la estructura de la ecuación que nos sirve de ejemplo. La decisión entre ellos es imposible si nos atenemos tan sólo a la forma, pues nada la distingue de las ecuaciones de definición. Hay que recurrir a los conceptos, a la epistemología, para rechazar los puntos de vista b) y c), porque de ninguna manera puede admitirse que la fuerza *sea* el producto de una masa por una aceleración, o que la masa *sea* el cociente de una fuerza por una aceleración, pues con ello quedaría degradada la fuerza (o la masa) hasta convertirse en una magnitud secundaria, de las que hemos llamado magnitudes por definición, y la ley de la inercia quedaría sin contenido, porque no afirmaría nada que pueda ser cierto o falso. Y el que la fuerza no pueda considerarse definida por dicha ecuación está confirmado por el hecho de que la teoría de la relatividad ha obligado a modificar dicha ley, sin que con ello se haya alterado ni el concepto ni la métrica de las fuerzas.

Según la teoría de la relatividad, la ley de la inercia debe escribirse así:

fuerza  $\times$  tiempo = variación del ímpetu.

$$f dt = dp.$$



El ímpetu es, *por definición*:

$$p = \frac{m_0 v}{\sqrt{1-\beta^2}} \quad \beta = \frac{v}{c}$$

con lo cual:

$$f dt = d \frac{m_0 v}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

Es frecuente interpretar esta ecuación diciendo que, por efecto del movimiento, la  $m_0$  no se ha convertido en

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

con lo que la ley conserva la forma clásica:

$$f dt = d (mv).$$

De ser así, la teoría de la relatividad no habría variado la ley de la inercia, sino el concepto y la métrica de la masa. A mi modo de ver, es preferible decir que la masa sigue siendo  $m_0$ , de acuerdo con la métrica primitiva, pero que la ley de la inercia se ha convertido en:

$$f dt = m_0 d \frac{v}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

Las ecuaciones fundamentales de la física no deben nunca tomarse como ecuaciones de definición. Las magnitudes que en ellas figuran han de haber sido definidas previamente. Por eso conviene distinguir claramente entre ecuaciones de definición y leyes físicas. Las primeras son identidades; son siempre válidas porque sus dos miembros son una misma cosa, y para establecerlas no hay otro criterio sino el de que sean más o menos útiles como medio de expresión. Las segundas se refieren a experimentos realizados en determinadas condiciones, y su validez está supeditada a lo que resulte de los mismos.

He aquí ahora una cuestión embarazosa: ¿Si los dos miembros de la expresión de una ley física son cosas diferentes, cómo puede ponerse entre ellos el signo de igualdad? Una manera obvia de resolver la cuestión, por cierto muy a gusto del posi-



tivismo lógico, consiste en decir que tales ecuaciones son simples *relaciones aritméticas entre los números que resultan al medir las cantidades*, cada una de acuerdo con su definición operacional, y que pretender otra cosa es dejar de hacer ciencia positiva. Pero es el caso que los números dependen de las unidades que se adopten, por lo que la igualdad que sea cierta con un sistema de unidades dejará de serlo si se utiliza otro y, sin embargo, a nadie se le ocurrió pensar que con la adopción del sistema métrico decimal quedasen invalidadas las ecuaciones de la mecánica newtoniana. Por otra parte, todas las teorías físicas pueden ser desarrolladas y comprobadas sin recurrir a ningún sistema particular de unidades. Queda, pues, en pie la pregunta: ¿qué relacionan las ecuaciones físicas? Para responderla, hemos de abandonar el positivismo estricto. Hemos de creer en la existencia de las cantidades como algo real, anterior e independiente de las medidas. Sólo así podremos decir que:

*Las leyes físicas son relaciones de proporcionalidad entre cantidades.*

Todas estas sutilezas parecerían superfluas si no fuera porque todo el quid de la teoría de las magnitudes como entes abstractos, y con ella todo el análisis dimensional, consiste en analizar la manera de construir sistemas de unidades coherentes, esto es, que conviertan las relaciones de proporcionalidad entre cantidades en ecuaciones entre números.

#### *Las definiciones instrumentales.*

Hemos distinguido entre dos clases de magnitudes. Las primarias o simples, cuyo carácter de cosa medible es fruto de un postulado comprobable experimentalmente, y que son susceptibles de definición cuantitativa intrínseca, esto es, pueden medirse sin recurrir a la medida de otras magnitudes. Las secundarias o compuestas se definen, precisamente, como el resultado de realizar determinadas operaciones con las medidas de otras magnitudes previamente definidas.

La distinción entre magnitudes simples y magnitudes compuestas es perfectamente clara cuando se atribuye existencia real a las cantidades, independientemente de que se midan o no. Para los partidarios de las definiciones operacionales, hay



que concretarse a las lecturas realizadas en los instrumentos de medida. Según esto, la velocidad de un automóvil sería el número marcado por la aguja del celerímetro, y se obtiene sin necesidad de medir ni espacios ni tiempos.

Lo dicho para la velocidad es aplicable a todas las magnitudes, pues la técnica moderna posee recursos para construir aparatos que den, con toda la precisión apetecible, el resultado de medir una magnitud cualquiera, aunque se trate de algo tan enrevesado como el cambio que experimenta la entropía de un sistema en cualquiera de sus transformaciones.

Con la posibilidad de construir aparatos de medida para todas las magnitudes, pueden ya los positivistas atenerse exclusivamente a las *definiciones instrumentales* y decir, por ejemplo, que «presión, en cada caso, es el número que marca el barómetro». Con estos números, seguidos de la designación con que fué aforado el aparato (atmósfera, kilopondios por centímetro cuadrado, etc.), se construyen las cantidades que han de figurar en las leyes universales, y ya no es preciso seguir el proceso de abstracción para llegar hasta las magnitudes. En un laboratorio físico-positivista, no habría observación directa de los fenómenos; de todo cuanto hay en la naturaleza, lo único que interesa son las lecturas hechas en los aparatos, y el papel del físico experimental se reduciría a anotar dichas lecturas. Preguntas tales como, ¿qué es la fuerza?, ¿en qué consiste el calor?, han de contestarse con un encogimiento de hombros por ser extracientíficas. Lo único científico son los números que den los «aparatos-robot», y la finalidad de la ciencia el poder predecir que, si se ejecuta tal o cual experimento, los «robot» tal y cual marcarán tales o cuales números.

Tomemos como ejemplo la definición instrumental de la velocidad. Aplicada a un vehículo de ruedas sería «lo que marca un celerímetro», como esos que llevan los automóviles en el salpicadero. No es este un aparato que mida distancias y las divida por duraciones, sino que se basa en el hecho de que un disco metálico giratorio ejerce sobre un imán un par de fuerzas que es, próximamente, proporcional a la velocidad de rotación. La mayor parte de los motoristas ignoran el fundamento de su celerímetro; para ellos, las indicaciones de este aparato constituyen la definición de esta magnitud, sin necesidad de hacer referencia a ninguna otra. ¿Por qué, pues, ha de ser consi-



derada la velocidad como magnitud secundaria que necesita ser definida en términos de espacio y tiempo? Los positivistas no creen que ello sea así; para ellos no tiene sentido distinguir entre magnitudes primarias y magnitudes secundarias.

Adoptando el criterio lógico-positivista, habría tantas definiciones de velocidad como celerímetros contruídos o por construir. La velocidad de un barco sería la que marcara la corredera de este o esotro tipo; la de un avión, lo que marcara el tubo de Pitot o la tobera de Venturi, con los aditamentos que cada constructor utilice para efectuar tales o cuales correcciones; la velocidad de los astros consistiría en lo que indicara un aparato, que está por construir, que recoja por sí mismo todos los datos que ahora adquieren los astrónomos con variados instrumentos, y efectuase con ellos determinadas operaciones.

Veamos las consecuencias que, para el lenguaje de los físicos, tendría la adopción del positivismo lógico llevado hasta el extremo de no admitir sino las definiciones instrumentales. Calor sería «lo que se mide en los «calorímetros», y, para que no hubiese círculo vicioso, habría que describir todos los calorímetros en uso, poniendo el mayor cuidado en no utilizar la palabra calor ni ninguno de los conceptos que pudiere evocar, pues todo ello ha de salir del instrumento que se está describiendo. ¿Van las cosas por este camino? Ciertamente, y por fortuna, no. Hubo un tiempo, de funesto recuerdo, en que el estudio de la física se hacía insoportable por la machacona descripción de aparatos con todos sus tubos, grifos, depósitos, tornillos, escalas, nonius y anteojos. ¡Cuánto tiempo invertido en aprender cómo eran los aparatos con que el buen experimentador Regnault había medido los coeficientes de dilatación de los gases, sea con volumen constante, sea con presión constante! Y ello cuando dichos aparatos no eran sino piezas de museo. ¿Adónde hubiéramos ido a parar si la ya interminable y variadísima colección de termómetros que se encuentra en libros anticuados hubiese de ser completada con todos los tipos que se van construyendo? Por suerte, no ha sido así. En una época de transición se escribieron libros titulados de física experimental en los que, todavía, se describía un aparato de cada tipo. Luego quedó relegada esta misión a los libros de prácticas, y ahora, ni siquiera ello es necesario, porque cada aparato va acompañado de un folleto escrito por el constructor, que contiene la descripción y



las instrucciones para el manejo. En fin, hay revistas especiales destinadas a dar cuenta de los nuevos aparatos a medida que se inventan. La física propiamente tal queda dispensada de este cometido.

Lejos de atenerse a las definiciones instrumentales, la física se aleja de ellas en cuanto puede. Durante mucho tiempo, aunque la definición se embrollase según las posibilidades dialécticas de cada autor, temperatura era lo que marcaban los termómetros; pero cuando logró lord Kelvin definir correctamente la temperatura, todos los autores adoptaron su definición, a pesar de que echó mano de los conceptos más abstractos y de que aún no se ha construído ningún termómetro para medirla.

Pese a las nuevas corrientes filosóficas, los físicos se atienen al realismo ingenuo. Ya hemos hecho ver que, con ello, su lenguaje se libra de complicaciones superfluas, y queda limpio de vana pedantería. Y, si este modo de expresión corresponde a un modo de pensar, se llega a la conclusión de que la dialéctica realista es la peculiar de la física.

Todo esto viene a cuento para justificar nuestra duda de que se obtenga alguna ventaja al no distinguir entre magnitudes simples o primarias y magnitudes compuestas o secundarias. Por el contrario; sin tal distinción no tendrían razón de ser las reuniones internacionales en que se trata de decidir cuántos y cuáles han de ser los patrones adoptados como unidad para la medida de las magnitudes fundamentales.

He aquí un argumento más en contra de las definiciones instrumentales. Desde los tiempos de Lord Rayleigh (1915) estaba entablada una discusión acerca de la dimensión que debía atribuirse a la temperatura. Bridgman, físico de primera categoría, paladín del positivismo lógico, se ocupó largamente en el asunto y lo dejó sin resolver, y lo mismo le ocurrió con la constante química. Gracias a la distinción entre magnitudes simples y magnitudes compuestas, me ha sido posible hallar la dimensión correcta de la temperatura (energía dividida por masa), y probar que la constante química estaba definida deficientemente.



## PARTE TERCERA

### LAS ENTES Y LAS MAGNITUDES DE LA MECÁNICA

#### *Espacio y tiempo.*

Imaginemos por un momento la situación de un profesor de física hace cincuenta años, en la época prerrelativista. Uno que enseñase física teórica, la que entonces se llamaba física matemática. Todos los años, con arreglo a un plan bien meditado, podía dedicar la primera lección al más sencillo de todos los fenómenos físicos; al movimiento. Desde luego, era muy cuidadoso al precisar las definiciones de la fuerza, de la energía, del trabajo, etc. En esta primera lección tenía que hablar de espacios y de tiempos, y, sin la menor vacilación, afirmaría que estos conceptos estaban tomados del lenguaje ordinario, por lo que bastaría establecer la manera de medir longitudes y duraciones. En cuanto al espacio, los alumnos habían estudiado ya geometría, por lo que era inútil hablar de cómo se medían las distancias, aunque fuese sobre líneas curvas, y podía referirse a ejes de referencia, proyecciones, coordenadas y ecuaciones de trayectorias con la seguridad de ser perfectamente comprendido. A él, como físico teórico, no le correspondía describir los métodos empleados para medir longitudes; en las prácticas de laboratorio manejarían los alumnos los compradores, los esferómetros, los micrómetros, los nonius, y demás artefactos con que se conseguía medir longitudes con toda la precisión apetecible.

La cronometría quedaba también despachada en pocas palabras. Recurriendo a cualquier fenómeno, cuanto más sencillo mejor, por ejemplo, al trasvase del agua en una clepsidra, definiría



la igualdad y la suma de duraciones, y al llegar aquí podía hacer resaltar una curiosa sutileza. El tiempo se encargaba de sumarse a sí mismo, empalmando sin cesar las duraciones, unas a continuación de otras sin lagunas ni solapes, y esta suma tenía carácter singularísimo, porque no había manera de comprobar si era conmutativa, ya que no hay modo de invertir el orden en que se suceden las duraciones.

Si era de su gusto, podía adornar su primera lección con sugestivas imágenes. El espacio era el escenario en que ocurrían todos los fenómenos. Es lo que queda cuando se ha quitado todo. Y luego podía prodigar los epítetos. El espacio, no siendo nada, es uniforme, porque si hubiera diferencias habría algo; es ilimitado, porque, siendo uniforme, nada puede indicarnos cuando pasamos del espacio al no-espacio; es inamovible, porque no hay en él puntos de amarre para ponerlo en movimiento; como no hay nada, no tienen sentido las palabras arriba, abajo, delante, detrás, derecha e izquierda, pero basta imaginar tres rectas concurrentes, no coplanarias, ponerles unas flechitas y darles nombres, para que los tales vocablos adquieran un significado preciso. Y con este espacio así concebido, pudieron los matemáticos construir variedad de geometrías, desde la familiar euclidiana, hasta las más complicadas de Gauss, Lobatchevski y Bolyai.

En cuanto al tiempo, el repertorio es inagotable. Podía nuestro buen profesor de física ilustrar su lección remontándose al mito de Cronos devorando a sus hijos. Decir que el tiempo era la causa de que la lección que estaba explicando no fuese la misma que la del curso anterior, aunque emplease las mismas frases, porque los alumnos no eran los mismos, y también era otra la luz que les alumbraba. El tiempo es el imperioso devenir; el fluir incesante. Lo único imperturbable en la naturaleza, porque el tiempo lo cambia todo, pero nada puede influir en su marcha inexorable. Y como el tiempo no depende de que haya más o menos cosas en el universo, pueden suprimirse todas mentalmente, hasta llegar al espacio absoluto, con lo que el tiempo seguirá fluyendo sin eludir con nada, llevándose a sí mismo, como por un río sin agua y sin orillas.

Todo lo que precede ha sido dicho de mil maneras y con más bella forma por poetas, literatos y pensadores, pero en modo alguno precisa o aclara los conceptos que cada uno tiene de lo que son el tiempo y el espacio. Antes bien; pudiera decirse que tales



conceptos alcanzan su máxima precisión en la mente del pastor ignorante que sabe voltear su honda y colocar la piedra en el lugar y momento precisos para detener a la res desmandada. Pero, si se trata de hacer dialéctica sobre el tiempo y el espacio, podemos decir en español algo que no puede decirse en ninguna otra lengua, a no ser en italiano y en portugués. Y ello gracias a esa pareja de verbos que con tanto acierto ha calificado Marías de preciosa. Tiempo y espacio son los complementos indispensables del verbo estar, porque todo lo que existe *está* en el espacio; y tanto lo que existió o pudo existir, como lo que existirá o pudiera existir, estuvo o estará en el tiempo. Existir es estar en el espacio y en el tiempo. Sin espacio ni tiempo, nada puede existir; queda tan solo lo que *es* sin tener que estar, queda lo absoluto: Dios.

En fin, la primera lección podía terminarse con una reseña de lo que la física podía añadir a los conceptos intuitivos de tiempo y espacio. Newton había dado forma concisa a estos conceptos:

«El tiempo absoluto, el verdadero y matemático, de sí mismo y por su propia naturaleza, fluye uniformemente, sin atender a nada exterior, permanece inmóvil y similar a sí mismo.»

Los físicos habían resuelto, además, una grave dificultad. Ese despojo mental, ese quitarlo todo para quedarnos con el espacio desnudo, tropezaba con la abierta oposición de la naturaleza, que sentía horror al vacío. Y tan firme era esta convicción, que Descartes, en su controversia con Henry Hore (31) afirmaba que un vaso enteramente vacío tenía que aplastarse y, para evitarlo, llenó el espacio de sus vórtices. Puen bien; gracias a los buenos fontaneros de Florencia, y a la histórica y espectacular demostración de Otto de Guericke, y a cuanto la física ha averiguado desde entonces, puede afirmarse que el vaso no se romperá si sus paredes tienen suficiente resistencia, cosa que puede calcularse de antemano.

Hubo un tiempo en que se pensó que el espacio estaba lleno de éter, flúido misterioso, ténue hasta la espiritualidad y más rígido que el acero, sin el cual no podía propagarse la luz por falta de algo que ondulase a su paso. Pero, por razones varias, el hipo-

---

(31) Véase Burtt, *Metaphysical Foundations of Modern Physical Science*. Harcourt y Brace. Nueva York, 1925.



tético éter corrió la misma suerte que los demás flúidos imponderables, y ya no quedaron obstáculos físicos que impidiesen ir quitando cosas hasta que, yendo de dentro afuera, nos quedásemos con el espacio en toda su desnudez.

En lo que al tiempo se refiere, la física ha podido dar una definición muy sugestiva: «de todas las magnitudes físicas, el tiempo es la única verdaderamente independiente, y la única también que crece siempre.»

### *La teoría de la relatividad.*

Así estaban las cosas cuando surgió la teoría de la relatividad. Michelson y Morley tuvieron la curiosidad de ver si era posible demostrar, sin salir de las paredes de su laboratorio y sin mirar a nada que estuviese fuera, que la Tierra se mueve en torno del Sol. Iba a ser algo parecido al experimento de Foucault, quien, ante una audiencia reunida en una sala, hacía visible con su famoso péndulo la rotación diurna de la Tierra. Es posible que alguno de los que me escuchan asistiese a alguna de estas reuniones, muy en boga hace unos cuarenta años. Yo recuerdo aún la que, con gran solemnidad, se celebró en la Universidad de Barcelona, cuando yo era estudiante.

Michelson y Morley, en lugar de utilizar la mecánica, recurrieron a la óptica. Era la luz la encargada de hacernos ver que la Tierra navega por el espacio. Pues bien; con asombro de todos, el experimento fracasó totalmente. La luz no pareció enterarse de que andaba entre aparatos en movimiento, y se comportó exactamente como si estuvieran en reposo absoluto. Esto resultaba desconcertante. Puede afirmarse que ningún experimento había sido planeado con tantas garantías, porque nada parece tan seguro como el que todas las velocidades se modifiquen cuando se mueve el observador que las mide. La luz, en cambio, se comportaba de modo insólito; su velocidad no cambia aunque se mida marchando en su misma dirección o yendo en sentido contrario.

Esta contradicción con lo previsto por las leyes elementales de la mecánica fué el origen de la teoría de la relatividad. De ella no nos interesa ahora sino lo que atañe a los conceptos de espacio y de tiempo, y por cierto que es cosa de asombro.

Todos habéis oído hablar de las cosas peregrinas que, se-



gún las previsiones de Lorentz, presenciaremos cuando los vehículos-cohetes naveguen por los espacios interplanetarios con velocidades que sean una fracción apreciable de la velocidad de la luz, y veamos con los aparatos de televisión lo que en tales cohetes sucede. Todos los objetos nos aparecerán acortados en la dirección del movimiento y, si comparamos las fechas de nuestro calendario con las de a bordo, hechas las debidas correcciones para tomar en cuenta el tiempo que tarda la luz en llegar hasta nosotros, observaremos que van retrasándose más y más, como si el tiempo en el cohete transcurriese más despacio. Nos parecerá que los viajeros envejecen más lentamente que nosotros, como si hubiesen encontrado el elixir que prolonga la vida. Pero, ¡a qué costa lograrán esta supervivencia! A medida que el cohete aumenta de velocidad, los movimientos de los viajeros irán haciéndose más lentos, como si fueran cayendo en letargo y, si llegaran a alcanzar la velocidad de la luz, quedarían inmóviles en la pantalla de nuestro receptor, y todo sería quietud en torno suyo, como en la urna de la bella dormida del bosque. Hasta los relojes quedarían parados, con el péndulo en la posición en que estaba en el momento en que se alcanzó la velocidad de la luz. Otra cosa de espanto. Los viajeros habían quedado aplastados, convertidos en seres extraplanos, unos de perfil, otros de frente, otros en violento escorzo, según como estuvieren cuando el tiempo dejó de pasar.

Ante estos hechos extraños, lo primero que ocurre preguntar es si son verdaderos o ilusorios. El lógico positivista, para quien la cuestión carece de sentido, se encogerá de hombros, pero el realista ingenuo dirá que se trata de falsas apariencias de la realidad, y aducirá como argumento el que, si los viajeros aprovecharan su cruce con un cohete de retorno para enviarnos cartas y fotografías, nos enteraríamos de que su vida transcurría normalmente, su corazón latía con el ritmo habitual, y sus cuerpos conservaban las tres dimensiones, aunque con más canas y más arrugas. En cambio, nos expresarían su sorpresa de vernos a nosotros convertidos en obleas inmóviles. Todo es, pues, pura ilusión; nos travemos mutuamente. Ha bastado que las noticias lleguen por carta y fotografía para que las cosas aparezcan con su aspecto normal. Nada ha pasado ni con el tiempo ni con el espacio. La culpa la tiene el mensajero, las ondas electromagnéticas, que todo lo trastornan.



Así hubiera podido quedar la cosa, misteriosa pero sencilla, a no ser por la intervención de la filosofía. Todos lo recordais. Era la época alegre y confiada, entre guerra y guerra, cuando la relatividad se puso de moda, y menudearon artículos y conferencias en que, filósofos que no sabían física y físicos que no sabíamos filosofía, porfiábamos en explicar al público culto lo que no podíamos entender nosotros mismos. La filosofía positivista aprovechó la ocasión para afirmar que sus normas darían la pauta para evitar percances como el sufrido por la mecánica newtoniana. Dejando para otra ocasión la crítica de esta afirmación, vamos a ver qué modificaciones nos obliga a introducir la teoría de la relatividad, en su forma primitiva, en nuestras ideas acerca del espacio y del tiempo, que es lo que ahora nos interesa.

Ante todo, conviene dejar bien sentado que la relatividad no ha introducido la menor modificación en las definiciones cuantitativas del tiempo y del espacio. Longitudes y duraciones siguen midiéndose lo mismo que antes. La cuestión, por tanto, es saber si los conceptos, esto es, si las definiciones epistémicas han sido afectadas por la teoría de la relatividad en su forma restringida. Examinemos algunas de sus implicaciones, dejando para más adelante las consecuencias de la relatividad general.

a) *Invariabilidad de la velocidad de la luz.* Para explicar la propagación de las ondas luminosas se había postulado la existencia del éter, que llenaba todo el espacio y penetraba en el seno de los cuerpos más compactos. Esta hipótesis llevaba consigo el que la velocidad de la luz diese valores diferentes según que el observador se hallara en reposo o en movimiento. Los experimentos ha demostrado que no es así. En consecuencia, el éter no existe. Servía para ser ondulado por la luz. Representaba, como se ha dicho con frase gráfica, un papel puramente gramatical: servir de complemento al verbo ondular. Ahora resulta que no hay nada que ondule, a no ser la luz misma.

Hemos de suprimir el éter, pero no podemos prescindir del espacio porque ha de servir de camino a la luz. Con la supresión del éter, el viejo concepto del espacio queda inafectado, pues para llegar hasta él habíamos tenido ya que efectuar la supresión mentalmente.

Si la luz no fuese de naturaleza ondulatoria, si estuviera formada por corpúsculos, nada de extraño tendría el que se propagara en el vacío, y que se comportara del mismo modo en to-



dos los sistemas inerciales. Lo incomprensible es que suceda esto siendo la luz de naturaleza ondulatoria. Limitémonos ahora a señalar donde está el misterio y dejemos para más adelante el examinarlo con más detenimiento.

b) *Equivalencia de todos los sistemas inerciales.* La relatividad nos privó del éter. Por si esto fuera poco, se pretende que no existe el espacio absoluto, porque no hay experimento que permita decidir si estamos en reposo o si nos movemos con movimiento rectilíneo y uniforme. En mi opinión, lo que se deduce de la teoría de la relatividad no es la inexistencia del espacio absoluto, sino la imposibilidad de distinguirlo, cosa que no afecta al concepto que de él tengamos formado.

c) *Acortamiento de los cuerpos y retraso de los relojes.* Un misterio sigue siendo misterioso por más vueltas que se le dé. Consecuencia de la misteriosa invariancia de la velocidad de la luz es el *aparente* acortamiento de los cuerpos en movimiento, el retraso de los relojes, y el que dos acontecimientos que un observador tiene por simultáneos no lo sean para otro que se mueva con relación al primero. Todos estos fenómenos pueden ser sometidos a riguroso cálculo y no conducen a contradicción ninguna.

Ahora bien: la teoría de la relatividad nada dice acerca de cómo han de medirse las longitudes de cuerpos en movimiento. Si se tratara de cuerpos en reposo, la comparación con nuestro metro y con nuestro reloj podría realizarse sin utilizar el sentido de la vista; podríamos valernos del oído y del tacto, por ejemplo. Pero con un cuerpo que se nos escapa hemos de recurrir a la luz, y tenemos motivos para desconfiar de las noticias que nos traiga este sospechoso mensajero. De cómo, a pesar de las apariencias, podemos conservar el concepto de espacio absoluto, hemos hablado ya en el apartado anterior. En cuanto al tiempo, podemos seguir creyendo, sin incurrir en contradicción con las fórmulas relativistas, que sigue fluyendo imperturbable en todos los puntos del espacio, sin que su fluir sea afectado por el movimiento. Y en prueba de que ello es así, imagínense dos masas iguales de determinado cuerpo radiactivo. Una queda en reposo, y la otra se mantiene en movimiento durante todo el tiempo que se quiera. Al final, se detiene el cuerpo móvil y se compara su radiactividad con la del que habíamos dejado en reposo. La propia teoría de la relatividad exige que se obtenga



el mismo resultado en ambos cuerpos, lo que prueba que el tiempo ha transcurrido lo mismo para uno que para otro.

Como resumen de lo que procede, nos atrevemos a afirmar que la teoría de la relatividad restringida no ha alterado las definiciones cuantitativas del tiempo y del espacio y que no obliga necesariamente a modificar el concepto intuitivo de tales magnitudes. ¿Qué es, pues, lo que ha cambiado? Planteada así la cuestión, la respuesta es obvia. Lo que se ha modificado son las leyes fundamentales de la mecánica y las ideas acerca de la naturaleza de la luz.

### *El espacio físico en la teoría general de la relatividad.*

Ya hemos visto cómo la teoría de la relatividad, en su primera forma, la llamada relatividad restringida, deja inalterados los conceptos de tiempo y de espacio. No puede decirse lo mismo de la teoría general de la relatividad y, si bien es cierto que su influencia en la física ha sido hasta ahora prácticamente nula, sus implicaciones en lo que al espacio físico se refiere son tan sugestivas que bien merecen algún comentario.

Con la teoría de la relatividad restringida se había conseguido unificar los fenómenos mecánicos y los electromagnéticos. La teoría general se propone incluir en dicha unificación los fenómenos gravitatorios, y descubrir leyes que sean *invariables* para todos los observadores, cualquiera que sea su movimiento relativo. No pretendo exponer dicha teoría ni siquiera en sus líneas generales. Primero, porque de ella saben los especialistas que me escuchen o lean mucho más que yo y, segundo, porque mi compañero Sr. Iñiguez (32) acaba de divulgarla en forma magistral.

Según la relatividad generalizada, si se admite que el espacio es curvo, quedan explicados los fenómenos gravitatorios. Para comprender como ello es así, imaginad la superficie de un estanque helado poblado por seres aplastados que no concibiesen sino dos dimensiones. Pueden ir atrás y adelante, a derecha y a izquierda, pero lo de arriba y abajo son para ellos cosas sin sen-

---

(32) José María Iñiguez. El enigma del mundo físico en la física moderna. Universidad de Zaragoza. Lección Inaugural, 1951-1952.



tido. En el centro del estanque hay una piedra que ha producido una depresión en el hielo, con lo que su superficie ya no es plana, sino cóncava. Los seres extraplanos no se dan cuenta de ello, pero ven la piedra y notan una tendencia a caer sobre ella. Los físicos de este mundo bidimensional creerían en la existencia de un campo gravitatorio engendrado por la piedra, pero nosotros que vemos las cosas desde arriba, nos damos cuenta de que se trata de algo geométrico; la superficie no es plana, sino curva.

Pues, según Einstein, una cosa análoga ocurre con nuestro espacio: los cuerpos materiales producen en él una curvatura, que nosotros tomamos por campo gravitatorio porque no podemos ver nuestro mundo desde fuera, desde la cuarta dimensión.

Desde luego, la relatividad generalizada nos obliga a atribuir al espacio una propiedad que nadie sospechaba; se abolla allí donde hay materia, de donde resulta que ya no será homogéneo, a no ser a gran distancia de todo cuerpo material. Pero, si la materia estuviese uniformemente distribuida, el espacio recuperaría su homogeneidad, esto es, habría de tener la misma curvatura en todos sus puntos; sería un espacio esférico, de tres dimensiones.

La presencia de grandes concentraciones de materia en las galaxias hace que se pierda la homogeneidad, por lo que la curvatura será más acentuada allí donde haya más materia, y este efecto trascenderá a los espacios intergaláxicos con lo que, tomado en conjunto y prescindiendo de las perturbaciones locales, el espacio no será rigurosamente esférico sino elíptico.

De todas las consecuencias de la relatividad generalizada, las más notables son las descubiertas por el abate Jorge Lemaître, profesor de la Universidad de Lovaina. El espacio curvo de Einstein no puede ser estático; ha de hallarse en expansión o en contracción, pero nunca en reposo. La teoría no predice cuál de las dos posibilidades tiene lugar en la realidad, pero hay que admitir la segunda, la expansión incesante del universo, porque con ella se explica perfectamente un hecho conocido por los astrónomos, la ley de Hubble: las galaxias se alejan unas de otras, de tal modo que todas las distancias astronómicas crecen proporcionalmente, a razón de 150 kms/s por cada millón de años de luz. La Osa Mayor, que dista de nosotros 250 millones de años de luz, se aleja con una velocidad de 42.000 km/s.



Una de las grandes ventajas del espacio curvo es que puede ser homogéneo en toda su extensión y, a pesar de ello, no tener límites, pues está cerrado sobre sí mismo lo mismo que una superficie esférica.

### *La geometría del espacio físico.*

¿En qué altera la relatividad general nuestra idea intuitiva del espacio? En nada, a condición de que dicha idea no hubiese sido deformada obligándonos a aprender determinada geometría. El espacio físico, con los puntos materiales en él, obedece a una geometría que fué elaborada por Riemann hace un siglo, y en la que se estudian los espacios de cualquier número de dimensiones con curvatura variable de punto a punto. Si se suprimen los puntos materiales y se deja la luz y los corpúsculos de la radiación cósmica, resultará un espacio más grande que el real, y que será rigurosamente esférico; su geometría había sido estudiada por Lobatchefski (1773-1850). Finalmente, si quitamos la luz y todo el enjambre de corpúsculos que andan dispersos por el cosmos, desaparece la curvatura y nos quedamos con el espacio infinito de curvatura nula, el espacio de Euclides, cuya geometría aprendemos en las escuelas.

Al llegar aquí tuve la curiosidad de leer lo que Kant dice acerca del espacio. Lo hice con el temor propio de quien se mete en honduras filosóficas sin la debida preparación. Pues bien; a mi modo de ver todo cuanto dice se mantiene, a condición de aplicarlo al espacio libre de materia, al que los físicos necesitamos para poner en él los cuerpos. Cuando Kant afirma que «el espacio es esencialmente uno» ha de entenderse el espacio abstracto exento de materia. Lo que Kant no podía saber, porque entonces no lo sabían ni los físicos ni los geómetras, es que la materia tuviese la propiedad de *moldear* el espacio en torno suyo, arrojándose con él, y comunicándole propiedades que hacen variar su geometría.

La relatividad general no ha logrado asentimiento unánime. Desde luego, sólo en casos excepcionales, buscados adrede, se manifiestan las curvaturas locales, por ejemplo en una pequeña desviación de la luz al pasar junto al disco solar, fenómeno que sólo puede observarse durante los eclipses. Por otra parte, la



longitud de mil millones de años de luz que se atribuye al radio de nuestro espacio esférico es tan grande comparada con las distancias terrestres que en todos los experimentos puede considerarse el espacio como rigurosamente plano, por lo que, si no existiera la geometría de Euclides, habría que inventarla.

En resumen; mientras no intervengan distancias tales que tarde la luz millones de años en recorrerlas, podemos atenernos al viejo concepto de espacio homogéneo y plano, con su geometría euclidiana. Pero el espacio curvo relativista, juntamente con las modernas ideas acerca de la constitución de la materia, conduce a una interesantísima consecuencia, que vamos a exponer brevemente.

### *Media hora de creación.*

Dos caminos se nos ofrecen para imaginar la creación del universo. El primero corresponde a la idea de que para construir una casa lo primero es disponer de solar. Consiste en partir del espacio infinito y poner en él luz y materia. Bastaría un destello o el más leve corpúsculo para que, automáticamente, el espacio se cerrase sobre sí mismo y adquiriese una curvatura creciente, contrayéndose a medida que se pusiera más luz o más materia. El otro es, justamente, el proceso inverso, el preconizado por Lemaître y por varios físicos, que lo hacen plausible combinando la teoría de la relatividad con lo que ahora se sabe acerca de la constitución de la materia.

He aquí cómo, en un sugestivo artículo titulado «Media hora de creación», describe Gamow (33) la creación del mundo. Hace unos cuantos miles de millones de años, surgió un puñado de radiación mezclado con neutrones, protones y electrones, que crearon inmediatamente el espacio justo para caber en él, pegados los unos a los otros. Desde luego, este espacio nació curvo, y la radiación daba en él vueltas y más vueltas. Los corpúsculos chocaban entre sí, originando una temperatura enorme, rayana en lo infinitamente grande. En seguida comenzó a crecer el espacio vertiginosamente, con lo que se inició un des-

---

(33) George Gamow. *Physics to Day*. vol. 3, n.º 8. Am. Inst. of Physics. Lancaster, 1950.



censo de temperatura. Al cabo de un segundo se había reducido ya a unos 15 millones de grados. La mezcla de partículas elementales tiene ya un nombre, «ylem», vocablo caduco que, según el diccionario de Webster, significa sustancia primordial de la que se forman todos los elementos. El «ylem» tuvo existencia efímera. Pasados unos quince minutos, la temperatura había bajado lo suficiente para que protones y neutrones se reunieran formando los núcleos atómicos.

Los párrafos que acabo de transcribir os habrán traído a la mente las palabras del Génesis. Escuchad todavía. El espacio curvo nació pequeño y en seguida empezó a crecer. La teoría dice, además, que es inestable, por lo que sería de prever que estallase como una pompa de jabón. Hace falta algo que modere el crecimiento, por lo que la expansión ha de ir acompañada de producción de trabajo, con la consiguiente pérdida de energía. Pero es el caso que los cálculos revelan que no hay tal pérdida. ¿Quién, pues, enfrena el crecimiento del universo sin robarle la energía de que tanto precisa? Según la bellísima frase de Fermi «el trabajo de expansión se realiza en la mano de Dios, que desde el infinito mantiene la cohesión del universo.»

El espacio crece, y en cada momento llega hasta donde alcanza la luz y la materia. Fuera del universo cerrado está el espacio por crear, las tinieblas exteriores de que nos habla el Nuevo Testamento.

### *La fuerza.*

Aparte del tiempo y del espacio, las únicas magnitudes simples utilizadas en mecánica son la fuerza y la masa. Todas las demás pertenecen a la categoría de las que hemos llamado compuestas, y su concepto y método de medida derivan de su respectiva ecuación de definición. El buen orden en la física actual exige que la definición de masa vaya precedido por las definiciones de fuerza, trabajo y energía.

La fuerza nos ha servido de ejemplo al analizar los diferentes tipos de definición. Epistémicamente se define así:

*Fuerza es una magnitud dirigida capaz de deformar los cuerpos o de alterar su movimiento.*



El criterio de igualdad deriva de la definición cualitativa. El de suma resulta de postular que las fuerzas se comportan como vectores localizados en puntos.

### *Trabajo y energía.*

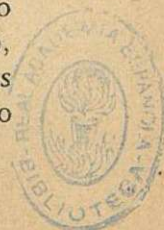
Partiendo de la fuerza, se definen dos magnitudes mediante las ecuaciones:

$$\begin{aligned}\text{Trabajo} &\equiv \text{fuerza} \times \text{camino} \\ \text{Energía consumida} &\equiv \text{Trabajo realizado.}\end{aligned}$$

Se trata de magnitudes «por definición» y con dar sus respectivas ecuaciones podríamos dar el asunto por terminado. Pero la importancia de los conceptos en ellas contenidos merece algún comentario.

En el lenguaje ordinario, trabajar es ocuparse en cualquier tarea, pero también es realizar un esfuerzo, aunque el resultado sea nulo. Un hombre pasa toda la jornada sosteniendo una gran piedra para que no ruede por la pendiente; hubiera logrado su propósito sin más que calzarla con una cuña, pero mirará con asombro a quien, con la mecánica en la mano, trate de convencerle de que no ha trabajado nada en todo el día.

Ahora, cualquier alumno del bachillerato tiene idea clara de lo que es el trabajo, pero hasta hace muy poco la cosa estaba oscura. Tratábase de encontrar algo que sirviera de medida al esfuerzo realizado. Newton creó su mecánica, manejó fuerzas, masas y aceleraciones, pero no abordó la cuestión. Leibniz creyó encontrar tal medida multiplicando la masa del cuerpo a que se aplica la fuerza por el cuadrado de la velocidad adquirida, e influido quizá por su formación filosófica, dió por supuesto que el efecto había de ser igual de igual índole que la causa, y designó dicho producto con el desdichado nombre de *vis viva*, fuerza viva, que aún subsiste, y llamó *vis mortua* a la fuerza que un cuerpo pesado ejerce sobre su apoyo. Descartes, en cambio, encontró razones para valorar el efecto de la fuerza multiplicando la masa del móvil por la velocidad adquirida, producto que se denomina cantidad de movimiento. Esto dió origen a una famosa discusión de la que no salió nada en claro, porque tampoco era claro lo que se pretendía. Así estuvieron las cosas durante todo el siglo XVIII, y es preciso llegar al año





1826 para que Poncelet diera con la solución. El efecto de una fuerza no ha de buscarse en el cuerpo afectado; es el producto de la fuerza por el camino recorrido. Poncelet llamó a tal producto trabajo (*travail*). Los hombres condenados al trabajo desde que Adán fué expulsado del paraíso, no han sabido medir correctamente el trabajo hasta hace poco más de cien años.

Y respecto de la energía, la cosa es más curiosa todavía. Ahora, no ya los alumnos del bachillerato; todo buen burgués tiene concepto claro de la energía. La compra y la vende y sabe si es exagerado o no el precio del kilovatio-hora. Pero tan concreta noción es cosa reciente. El vocablo energía no ha sido utilizado en física hasta hace poco tiempo. Según nuestro «Diccionario de Autoridades» (1872) energía es «fuerza que encierran en sí algunas palabras, preñadas y dichas con cierto espíritu, que nos publican lo que callan.» Era lo que ahora llamaríamos énfasis con reticencia. Quien primero usó la palabra energía en física fué Thomas Young (1807), aplicándola a lo mismo que Leibniz llamó fuerza viva, y quien le dió su sentido actual fué Rankine, unos cincuenta años más tarde.

Al principio sólo se llamaba energía a la que es ostensible en un cuerpo que se mueve. De la que ahora llamamos energía potencial no se tenía idea clara. En 1834 formuló Hamilton su famoso principio, con el que la mecánica clásica alcanza su apogeo, y en vez del concepto de energía potencial utiliza un mero símbolo matemático, que designó con el inexpresivo nombre de función de fuerza. De lo que ahora sabemos que es fundamental en la energía, el que su cuantía se conserva inalterada en todas las transformaciones, no se tenía el menor atisbo. Antes bien; se admitía implícitamente que no había nunca tal conservación, y para poder aplicar la teoría de modo sencillo, se postulaba la existencia hipotética de los sistemas conservativos. Con ellos se elaboró la mecánica racional, bella y utilísima, pero tan irreal que ignora la existencia del calor.

Gracias a la termodinámica se logró, por fin, establecer con claridad y corrección el concepto de energía en todos sus aspectos. He aquí la definición de lord Kelvin: «*La energía contenida en un cuerpo es la cuantía, medida en unidades mecánicas de trabajo, de todos los efectos exteriores al cuerpo, que se producen cuando éste pasa del estado en que se halla a otro fijado convencionalmente como origen.*»



## M a s a .

Las geniales distracciones de Newton se han divulgado en gran número de anécdotas. Merecía ser incluido entre ellas el lapsus en que incurrió cuando, después de decir que emplearía la palabra *masa* en lugar de *cantidad de materia*, definió la materia como producto del volumen por la densidad, siendo así que la densidad no puede definirse más que como cociente de la masa por el volumen.

Newton fué, pues, quien introdujo la palabra masa en física; sobre este vocablo construyó su mecánica, pero no precisó debidamente el significado de tan importante magnitud. Ernst Mach (34) en su magistral tratado histórico-crítico dió una definición que, con mutilaciones más o menos afortunadas, se encuentra reproducida en todos los libros de física. Mach, es uno de los fundadores de la filosofía positivista, y pretende que su definición es puramente operacional, pero como hace notar Margenau, hay en ella una curiosa mezcla de elementos epistémicos y de elementos legales. La definición de Mach, reducida a sus elementos operacionales, sería:

Tómese un cuerpo A como masa unidad. Hágase actuar sobre otro B, por un medio cualquiera, de tal modo que, partiendo ambos del reposo, se pongan en movimiento, cosa que puede lograrse, por ejemplo, uniéndolos con un resorte o cargándolos eléctricamente. Si  $a_A$  y  $a_B$  son las aceleraciones respectivas, medidas simultáneamente, la masa de B vale:  $a_A/a_B$ .

Fácilmente se echa de ver que la validez de la precedente definición está supeditada a las leyes de Newton, pues nada permite afirmar *a priori* que el valor obtenido para la masa sea independiente de la manera como los cuerpos actúan mutuamente y de las velocidades que adquieren. Por otra parte, la teoría de la relatividad ha mostrado que la masa depende de la velocidad, y esto basta para invalidar la definición de Mach.

Otros autores siguen el camino opuesto al de Mach; van directamente a la ley, y definen la masa como cociente de la fuerza por la aceleración. Pero esto es reducir la masa a la cate-

---

(34) Ernst Mach. Die Mechanik in ihrer Entwickelug (3.<sup>a</sup> ed.) F. A. Brockhaus. Leipzig, 1921.



goría de las que hemos llamado magnitudes por definición, y de paso se deja vacía la segunda ley de Newton.

La objeción que hemos hecho a la definición propuesta por Mach es aplicable a todas las definiciones operacionales cuando se aplican a magnitudes primitivas. En todas se introduce subrepticamente algún elemento legal, esto es, la definición queda subordinada a alguna ley que no se enuncia expresamente. En fin, el asunto es tan embrollado que ha merecido ser estudiado a fondo por Lenzen (35), quien propugna el método de las *definiciones sucesivas*: «se empieza por abstraer los conceptos, luego viene el descubrimiento de las leyes. Con su auxilio se pueden definir los conceptos con mayor precisión y, finalmente, se interpretan los conceptos primitivos en función de los mejor precisados».

En el caso de la masa, el método de Lenzen consiste en lo siguiente: se empezó por definirla operacionalmente por medio de las balanzas, con lo que se confundía con el peso. Luego se vió que satisfacía las leyes de Newton (a condición de que se definiese como cociente de dividir la fuerza por la aceleración). Esto permitió dar otra definición más precisa, la de Mach. Finalmente, la relatividad condujo a otra definición de la masa, que resultó ser un tensor.

Es atrevido tratar de poner en claro lo que ha quedado tan confuso en manos de los especialistas en estas sutilezas. Pero, el hecho de que no se haya llegado a un acuerdo, me da valor para exponer mi modesta opinión. Voy, pues, a aplicar a la masa el método de definición que consiste en señalar primero el rasgo característico, fruto de la observación, y en establecer luego los criterios de igualdad y de suma.

Si se prescinde de las acciones térmicas, esto es, si nos atenemos a la mecánica, los cuerpos se revelan por su inercia y su gravitación. Son inertes (Galileo) porque son incapaces de moverse a sí mismos, y son gravitatorios porque son capaces de mover a otros cuerpos. He aquí dos conceptos, el de inercia y el de gravitación, tan claramente distintos que parecen antagónicos. Un cuerpo es capaz de hacer con otro lo que no puede hacer consigo mismo.

---

(35) V. F. Lenzen. *The Nature of Physical Theory*. John Wiley. Nueva York, 1931.



Manteniéndonos en el terreno epistémico, esto es, sin recurrir a leyes, habremos de distinguir entre dos magnitudes, una responsable de la inercia y otra causante de la gravitación. Llamémoslas masa inerte y masa gravitatoria.

*Masa inerte es aquella magnitud por cuya virtud se requiere la acción de una fuerza para que cambie el movimiento de los cuerpos.*

*Masa gravitatoria es aquella magnitud en virtud de la cual los cuerpos se atraen mutuamente.*

El criterio de igualdad deriva de las precedentes definiciones. El de suma exige postular que se trata de magnitudes aditivas, por lo que la suma puede definirse por acumulación. Por ejemplo:

*Una masa inerte es igual a la suma de otras dos cuando lanzadas todas con la misma velocidad sobre un cuerpo testigo, el efecto que produce la primera es igual al que producen las otras dos reunidas.* Tales efectos pueden observarse con un péndulo balístico y, para comprobar su igualdad, no es preciso efectuar medida ninguna.

Análogamente, *una masa gravitatoria será igual a la suma de otras cuando la acción de la primera sobre un cuerpo testigo es igual a la que ejercen las otras reunidas y en idénticas condiciones.* La igualdad de acciones podrá comprobarse observando la deformación de un resorte, la desviación de un péndulo, etc., sin necesidad de efectuar medida ninguna. Con la balanza se miden masas gravitatorias.

Con esto podríamos dar por terminada la definición de la masa a no ser por una circunstancia digna de mención. En física se habla de masa a secas, y se entiende siempre que se trata de la masa inerte. Ello es consecuencia de que los criterios de igualdad para una y otra masa son equivalentes, de donde resulta que dos cuerpos que tengan la misma masa inerte tienen también la misma masa gravitatoria. Así se justifica el que Sommerfeld (27) escriba:

$$m_i = m_g.$$

Pero, al proceder así, se tropieza con una grave dificultad, pues ocurre que la ecuación precedente merece el calificativo de «monstruo dimensional», que el propio Sommerfeld aplicó a la ecuación de Lorentz, que da la fuerza que un campo mag-



nético ejerce sobre una carga en movimiento. En efecto, la ley de la gravitación:

$$f = \frac{m_1 m'_1}{r^2}$$

permite definir una unidad coherente para la masa gravitatoria, y conduce a la ecuación dimensional:

$$[m_g] = ML^3 T^{-2}$$

Es, pues, equivocado el interpretar los experimentos de Eötvös en el sentido de que ambas masas son iguales. Lo correcto es decir que son proporcionales, y escribir:

$$m_1 = \sqrt{G m_g},$$

donde  $G$  es la constante de la gravitación universal.

¿A qué se debe el que no sea preciso distinguir dos clases de fuerza, la que mueve y la que deforma, y en cambio sean cosas distintas la masa inerte y la masa gravitatoria? La única razón que podemos dar se basa en una sutileza que revela hasta qué punto es aventurado sentar afirmaciones generales en esta peliaguda cuestión de las magnitudes físicas. Ocurre que, con una misma fuerza, se puede, a voluntad, o producir movimientos en cuerpos libres, o deformarlos si están sujetos; son acciones separables una de otra, y la tercera ley de Newton exige que proporcionen criterios equivalentes para la medida de la fuerza en cuestión. En cambio, *la masa inerte y la gravitatoria son inseparables*; donde existe la una existe la otra, y cuando dos cuerpos tienen igual masa inerte tienen también igual masa gravitatoria. La ley de la gravitación universal es misteriosa por basarse en una acción a distancia, pero también es asombrosa por afirmar que la inercia y la gravitación son atributos inseparables, y que se presentan siempre en dosis proporcionales. La indisolubilidad podría tener la siguiente explicación: supóngase que en algún momento hubiese habido en nuestro mundo porciones de materia desprovistas de acción gravitatoria. Los choques las habrían reducido a polvo impalpable, que andaría desparramado por los ámbitos del espacio, incluyendo el más allá de los sistemas de nebulosas, y sus partículas serían como los átomos de un fluido imponderable que nos pasaría



inadvertido. Por la misma razón que dió Darwin para explicar que no hubiese moscas aladas en un islote barrido por el viento, es natural que toda la materia a nuestro alcance sea, a la vez, inerte y gravitatoria.

### *Materia y energía.*

Según Newton, masa es la cantidad de materia, de donde resulta que la materia sería una magnitud física, y entre ella y la masa habría la misma relación que entre línea y longitud, o entre tiempo y duración. Pero es lo cierto que el vocablo materia ha pasado a designar, no una magnitud física, sino algo sustancial (hipotético según los positivistas); *materia es aquello de que están formados los cuerpos.*

Materia y energía son dos entes a los que se hace responsables de todas nuestras percepciones sensoriales. En un proyectil, por ejemplo, se distingue entre la materia con que está construido, plomo o acero, y la energía que posee en virtud de su movimiento, del lugar que ocupa en el campo gravitatorio terrestre, o por haberse calentado hasta la incandescencia.

Toda la física clásica, y de modo especial la termodinámica, se basa en la clara distinción entre lo que es materia y lo que es energía. Se creía antes que la diferencia específica entre ambos entes radicaba en el hecho de ser la materia inerte y pesada, mientras que la energía era ingrávida. Tal diferencia se ha borrado desde que, recientes experimentos, de acuerdo con la teoría de la relatividad, han mostrado que todas las especies de energía poseen masa inerte, y que todas están sometidas a la acción de los campos gravitatorios.

Se sabe actualmente que todas las especies de materia están constituidas por corpúsculos elementales, protones, neutrones, electrones, etc., que tienen la peculiaridad de poder moverse con velocidades que varían desde el reposo hasta la velocidad de la luz. La energía, por el contrario, o no es de naturaleza discreta, como sucede con la energía mecánica (cinética y potencial) o, si lo es, como ocurre con la energía electromagnética, sus partículas o fotones han de moverse precisamente con la velocidad de la luz. Estamos, pues, en condiciones de distinguir la materia de la energía.



Conviene puntualizar la diferencia entre materia y masa. La materia no interviene en física sino cualitativamente. En las ecuaciones químicas, por ejemplo, los diferentes elementos están representados por sus símbolos, que no son más que abreviaturas de los nombres respectivos, mientras que la parte cuantitativa corresponde a los coeficientes y subíndices, que son números de moles, estos es, masas.

La masa, por el contrario, es un atributo común a todas las especies de materia y a todas las especies de energía. Hay muchísimas especies de materia, pero no hay más que dos especies de masa, la inerte y la gravitatoria.

La precedente descripción pone de manifiesto la improcedencia de algunas locuciones usuales. Unas son tópicos tomados del lenguaje vulgar, como «fusión de la masa». Lo correcto es decir fusión de la materia, lo mismo que se habla de estados de agregación de la materia y no de la masa.

Hemos insistido tanto en estos conceptos porque un nuevo descubrimiento ha venido a introducir lamentable confusión entre los vocablos materia, masa y energía. Nos referimos, nada menos, que al fenómeno que preocupa a la humanidad entera, a la liberación de energía en las reacciones que tienen lugar en los núcleos atómicos, o sea, a la producción de la llamada energía atómica. Este fenómeno se designa de diversas maneras: desmaterialización de la materia o conversión de la masa en energía, y todos los tratadistas al exponerlo afirman que está regido por un principio de conservación, según el cual, la masa y la energía son cosas equivalentes, pues pueden transformarse una en otra de acuerdo con la relación de Einstein  $E = c^2 m$ . Por eso, la pérdida de masa de los núcleos atómicos, al producirse su escisión (36), es prueba de que se ha producido energía a razón de  $9 \times 10^{20}$  ergios por cada gramo. En este modo de hablar hay unanimidad completa entre los físicos, empezando por los que más han contribuido al estudio de la física nuclear. Paréceme, sin embargo, y mi experiencia pedagógica lo afirma, que hay una confusión que conviene esclarecer.

Para afirmar que un objeto, A, se transforma en otro, B, es preciso que el primero desaparezca en beneficio del segundo.

---

(36) Se ha hecho internacional el nombre de *fisión*, pero creemos que en español debe decirse escisión.



Por tanto, para que la masa se transformase en energía, habría de disminuir la primera a medida que aumentase la segunda. Pues bien; ocurre que *en todo fenómeno, aunque haya liberación de energía, la masa total permanece constante*. En las reacciones nucleares la masa perdida por los corpúsculos es justamente igual a la que posee la energía liberada. Si se rodea la pila atómica de una envoltura que no deje salir nada, y se pone en una báscula, no se notará la menor pérdida de peso aunque se escindan en ella toneladas de núcleos de uranio, con la consiguiente producción de energía, porque la masa perdida por los núcleos de uranio al escindirse es justamente igual a la masa de la energía. En consecuencia, el principio de Lavoisier sigue válido: *la masa se conserva*.

¿Qué es, pues lo que se transforma en energía? Las precedentes consideraciones hacen obvia la respuesta. *La materia se transforma en energía y recíprocamente*. La materia es como una condensación de la energía, y las transformaciones de una y otra están regidas por un principio de conservación que puede enunciarse así:

$$\text{materia} + \text{energía} = \text{constante.}$$

En virtud de este principio, la materia adquiere el rango de magnitud física homogénea con la energía, y podría medirse en las mismas unidades que esta: julios, ergios, o evoltios.

Cuando una pareja de partículas materiales, un electrón positivo y otro negativo, se funden para originar una partícula de luz, no es propio decir que se ha desmaterializado la masa sino que se ha *desmaterializado la materia*, y cuando se originaron los núcleos atómicos por síntesis de neutrones y protones no hubo transformación de masa en energía, sino transformación en energía de una pequeñísima porción de la materia de las partículas, como si hubiera que limarlas y pulirlas antes de meterlas en los núcleos atómicos.

Suele decirse que la moderna física ha fundido en uno solo los principios clásicos de conservación de la masa y de conservación de la energía. A nuestro modo de ver, subsiste sin alteración el principio de conservación de la masa, y el otro se transforma en el principio de conservación de la *materia + energía*.



*Cantidad de movimiento, ímpetu e impulsión.*

Es esta una magnitud de las que hemos llamado compuestas, por lo que en su ecuación de definición:

Cantidad de movimiento = masa  $\times$  velocidad,  
está contenido todo lo que hay que decir acerca de la misma. Pero hay dos motivos para que nos ocupemos en ella: uno se refiere a su designación; otro consiste en haber sido la única magnitud compuesta cuya definición ha cambiado por la teoría de la relatividad.

La locución cantidad de movimiento está tomada directamente de la segunda de las dos definiciones que Newton dió antes de enunciar sus leyes. Dice así:

*La cantidad de movimiento se mide por el producto de la velocidad por la cantidad de materia.*

Y curioso es que en español, francés, italiano y alemán se ha conservado la denominación propuesta por Newton, mientras que sus compatriotas la han sustituido por el vocablo latino *momentum*.

Desde luego, la tal locución es inadecuada, porque el movimiento no es una magnitud, sino un fenómeno, en el que intervienen varias magnitudes. Por esta razón, desde hace algunas décadas, empezó a introducirse en los libros alemanes la palabra *Impuls*, (en sustitución a *Bewegungsgrosse*). Pero ocurre que en español se llamaba impulso a otra magnitud compuesta, al producto de la fuerza por el tiempo, y por otra parte tenemos otro vocablo, *ímpetu*, que expresa mejor que ningún otro lo que se quería significar con cantidad de movimiento. He aquí, por ejemplo, cómo queda el enunciado del teorema del impulso:

*El cambio que experimenta el ímpetu de un móvil es igual al impulso que recibe.*

Para conservar el enunciado de este teorema en la mecánica relativista ha sido preciso sustituir la primitiva ecuación por esta otra:

$$\text{Ímpetu} = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

donde  $v$  es la velocidad del móvil, y  $c$  la velocidad de la luz.



### *Corpúsculos y ondas.*

Entre un cuerpo sólido y las ondas circulares producidas al arrojar una piedra en un estanque, no hay confusión posible, se distinguen a simple vista. La Física tiene sus leyes para describir el comportamiento de los cuerpos y de las ondas, y fué posible prescindir de los flúidos imponderables, tan queridos por los físicos dieciochescos, el flogisto, el calórico, el lumínico, los flúidos eléctricos y magnéticos y clasificar todos los agentes físicos en dos grandes categorías: los formados por corpúsculos y los que consistían en movimientos ondulatorios. Se disponía de un criterio aplicable aunque los cuerpos se achicaran hasta convertirse en corpúsculos invisibles y las ondas no se pudieran observar directamente.

Se admitían, tácitamente, las siguientes definiciones:

*Corpúsculo es todo aquello que se comporta como un punto material en la mecánica de Newton.*

*Movimiento ondulatorio es todo proceso regido por determinada ecuación entre derivadas parciales llamada ecuación de ondas.*

La luz fué calificada de agente ondulatorio porque Fresnel realizó con ella fenómenos de interferencia análogos a los que se observan en las ondas líquidas, y este mismo criterio aplicó von Laue cuando consiguió difractar los rayos de Roentgen. En cambio, la electricidad fué investida de naturaleza corpuscular cuando se logró probar la existencia de los electrones, átomos de electricidad, con masa y carga eléctrica iguales para todos.

Todo esto, que parecía tan firme, se ha venido abajo con la nueva física. La interpretación del fenómeno fotoeléctrico, indujo a Einstein a admitir que la luz consta de partículas, los *fotones*, sin que por eso dejara de comportarse como un movimiento ondulatorio. Más tarde, el príncipe de Broglie, dió impulso a la nueva mecánica cuántica, asociando un movimiento ondulatorio a toda partícula material; y los hechos han confirmado hasta la saciedad esta previsión. Todas las partículas, sean fotones, electrones, neutrones, protones, etc., e incluso los átomos completos, se comportan como ondas y como corpúsculos, sin que nadie pueda decir, a punto fijo, que



son lo uno con apariencia de lo otro, o ambas cosas a la vez. Les viene como anillo al dedo esa preciosa frase de nuestro humorismo contemporáneo: «ni lo uno ni lo otro, sino todo lo contrario».

El dualismo onda-corpúsculo no es para los filósofos positivistas motivo de admiración porque ¿qué puede haber de admirable en las lecturas hechas en escalas y de misterioso en una teoría matemática, lógicamente construída, y con la que se consigue la interpretación más económica de los hechos experimentales? Ondas, corpúsculos y átomos son cosas hipotéticas, y, para que no creen problemas, lo mejor es no creer en ellos.

Pero, pese a la filosofía positivista, la cuestión preocupa a los físicos, hasta el punto de que ha sido el tema preferente de discusión en las reuniones internacionales de Ginebra, de septiembre del año pasado, con intervención de Schrödinger, Compton, Born y Rosenfeld. El ponente Schrödinger, después de decir que nunca había sido tan obscura como ahora la imagen de la naturaleza, sostuvo que debiera darse preferencia al carácter ondulatorio sobre el corpuscular, y combatió la noción de complementaridad que le recordaba la frase de Goethe «Den eben wo Begriffen fehlen, da stellt sich ein Wort zur rechten Zeit sich ein.» Esta tesis fué unánimemente combatida por todos los presentes, no porque estuvieran de acuerdo entre sí, sino porque coincidían en no estar de acuerdo con Schrödinger. No sólo no se llegó a ninguna conclusión, sino que la cosa quedó más confusa por obra y gracia de la dialéctica marxista que Rosenfeld trajo a colación.

Según nuestro diccionario, misterio, en una tercera acepción, es «cualquier cosa arcana o muy recóndita que no se puede comprender ni explicar». Si los mejores cerebros del mundo no aciertan a explicar el dualismo onda-corpúsculo, y si hemos de llamar a las cosas por su nombre, hay que reconocer que estamos ante un misterio.

Los postulados de Newton llegaron a parecer tan evidentes y conformes con la razón, que se denominaron axiomas, y la ciencia que se construyó sobre ellos recibió el calificativo de mecánica racional. El dualismo onda-corpúsculo es un auténtico misterio, y lo mejor es empezar por ponerlo de manifiesto mediante dos definiciones y otros tantos postulados.



Definiciones :

1. *Corpúsculo* es todo aquello en que puede medirse una velocidad,  $v$ , y un ímpetu,  $p$ .
2. *Onda* es todo aquello en que puede medirse una velocidad de propagación,  $V$ , y una frecuencia,  $\nu$ .

Postulados :

1. *Las ondas electromagnéticas de frecuencia  $\nu = 1/T$  se comportan como si estuvieran constituidas por corpúsculos (fotones) que se movieran con una velocidad constante,  $c$ , y cuyo ímpetu  $p$ , valiese  $p = hv/c$ , donde  $h$  es la constante de Planck.*
2. *Todo corpúsculo que se mueve con una velocidad,  $v$ , y posee un ímpetu,  $p$ , se comporta como una onda cuya velocidad de propagación fuese  $V = c^2/v$ , y cuya frecuencia valiese  $\nu = pc^2/hv$ .*

El primer postulado conduce inmediatamente a la transformación de Lorentz, y de él arranca la dinámica relativista. Del segundo se deduce, inmediatamente, la relación de De Broglie :

$$\lambda = \frac{V}{\nu} = \frac{h}{p}$$

Todo pasa, y en ello radica el carácter misterioso de estos postulados, como si los fotones, electrones, neutrones, etc., fuesen entes cuya manera de ser permaneciera latente hasta que se efectúa un experimento para averiguar si son ondas o corpúsculos, y entonces se mostraran de tal modo que el resultado fuese siempre afirmativo.

La velocidad de la luz,  $c$ , es una constante universal. Ningún corpúsculo material puede alcanzarla, por la sencilla razón de que no bastaría para ello toda la energía del universo. Esto implica una diferencia esencial entre los fotones, que son energía desmaterializada, y el resto de las partículas.

La velocidad,  $V$ , de las ondas asociadas a las partículas materiales es siempre mayor que la velocidad de la luz, de donde resulta que tales ondas no pueden transportar nada, ni materia ni energía, son un verdadero misterio.



*¿Axiomas o misterios?*

Si nos atenemos a la definición de nuestra Real Academia, axioma es lo mismo que «principio, sentencia, proposición tan clara y evidente, que no necesita demostración». Basta esto para no hablar en física de axiomas desde que los entes objeto de su estudio han dejado de ser razonables para convertirse en misteriosos.

La física, a fuerza de querer ser positiva y racional se ha hecho mística en el sentido de misteriosa. Por no reconocerlo así, se pierde mucho tiempo en discusiones baldías. Por mi parte, prefiero como punto de partida un buen misterio, oscuro pero sencillo y enunciado con toda precisión. Como dice Gustavo Le Bon (37) «cada fenómeno tiene su misterio; el misterio es el alma ignorada de las cosas».

Hay que agradecer a nuestro gran filósofo Zaragüeta (38) el que, fundándose en escritos del cardenal Mercier, haya puesto de manifiesto la diferencia esencial entre misterio y contradicción. «Un misterio pone al espíritu en presencia de notas cuya compatibilidad no percibe; la contradicción le ofrece notas cuya incompatibilidad le es manifiesta. Ante el misterio, consciente de mi ignorancia, me callo; ante la contradicción, tengo derecho a hablar y digo ¡no! La contradicción no es el misterio; éste, en expresión feliz de Ernest Hello, es incomprensible; aquélla ininteligible; el misterio se halla por encima de la razón, la supera; la contradicción por debajo, es el absurdo.»

Si bien se mira, justamente este carácter misterioso es el que da firmeza a los fundamentos en que se asienta la moderna física, pues tan fuertes son los nuevos principios, que se imponen a la razón violentándola. De las teorías elaboradas en otras ciencias naturales, sólo cabe decir que son verosímiles, y en ello radica su debilidad, pues la tesis contraria, si bien se adereza, puede ser igualmente plausible, y de la fusión de ambas al estilo dialéctico (tesis + antítesis = síntesis) puede resultar otra teoría también verosímil. Así, frente a la tesis de la evolución de

---

(27) *Aphorismos*, pág. 124, 1913.

(28) Juan Zaragüeta, *El concepto católico de la vida según el Cardenal Mercier*, t. II, pág. 332. Espasa Calpe, 1930.

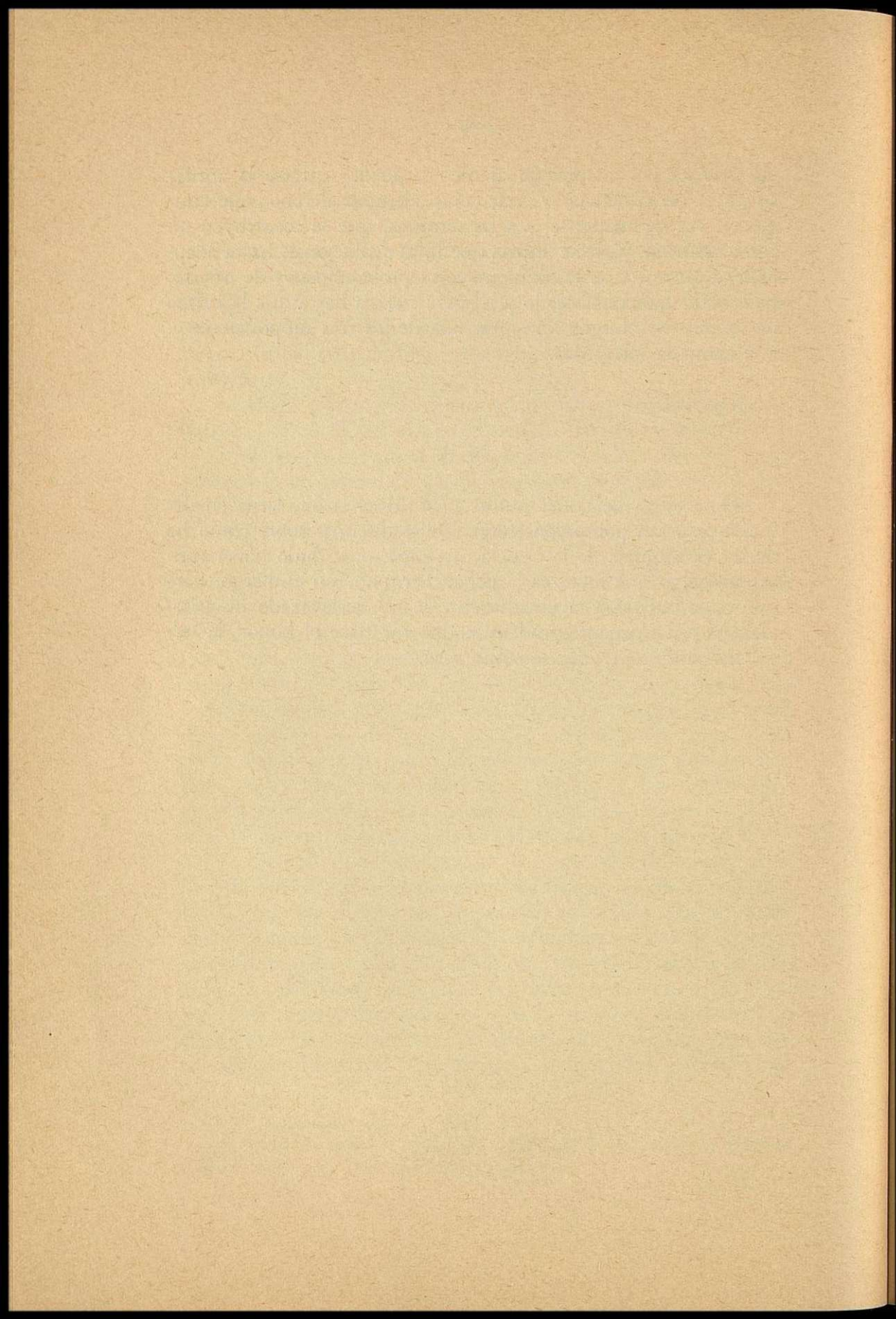


las especies por adaptación al medio, puede sentarse la antítesis de la permanencia, y citar como ejemplo al reno, que emigró en vez de adaptarse, o a las termitas, que se construyen un clima artificial. Y, si se afirma que unas evolucionan hasta adaptarse y otras no, se tendrán mayores probabilidades de acierto, pero no se habrá elaborado verdadera ciencia hasta que la *fuerza de los hechos* obligue a aceptar una de las tres proposiciones y a rechazar las otras dos.

## F I N A L

Hora es ya de poner punto a esta disertación, larga en demasía para tan pobre contenido. Quise discurrir sobre cómo ha de ser el lenguaje de la ciencia que profeso, y dudo haber conseguido algo que merezca la pena. Termino, sin embargo, para que, como alivio a la pesadumbre de mi deslavazado discurso, escuchéis al elocuente académico que me hace el honor de servir de padrino en este solemne acto.

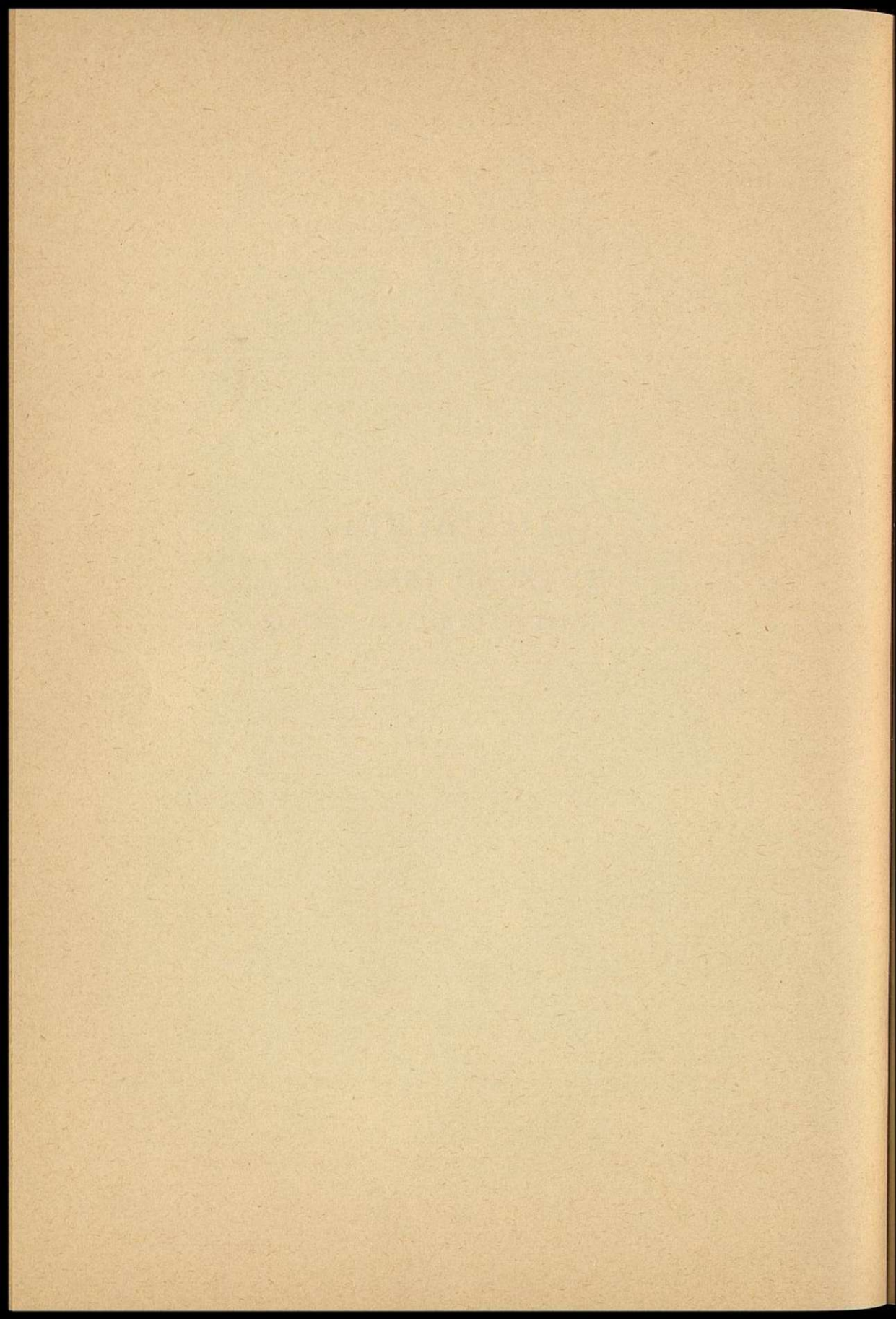






CONTESTACION  
DEL EXCMO. SEÑOR  
DON RAFAEL ESTRADA Y ARNAIZ







## SEÑORES ACADÉMICOS.:

Acabamos de oír un discurso de excelente forma dialéctica y gran hondura científica. Por ambos conceptos podemos decir que el nuevo académico no llega a esta Casa solamente por su notorio saber en la extensa zona que abarca la Física, sino también por sus dotes de fácil y justa expresión literaria; cualidades, estas últimas, que fueron puestas de relieve en el libro que escribió a raíz de un viaje a las islas Filipinas, donde sus brillantes conferencias científicas alternaron con las eminentemente literarias de nuestro gran poeta don Gerardo de Diego, pues ambos fueron juntos al lejano archipiélago en culta embajada que alió en feliz consorcio a las ciencias y letras patrias.

Esto ocurrió en el año 1935, cuando ya estaba consagrado desde hacía tiempo como hombre de ciencia don Julio Palacios, a quien todos conocéis en la cumbre de una vida nimbada por el prestigio; cima que únicamente alcanzan los elegidos, los superdotados, tras el titánico esfuerzo de un estudio tenaz que los conduce con firme paso por la empinada cuesta de la sabiduría.

Conocéis al ilustre catedrático de hoy, que ostenta las medallas de las Academias de Ciencias y de Medicina; pero no sabéis de las tribulaciones de su vida; de cómo se formó; de cuáles fueron en su juventud los obstáculos que hubo de franquear; de los sentimientos que llenaron su mente en el período de una infancia poco propicia, por su rústico y casi salvaje ambiente, para favorecer los primeros pasos hacia la meta que avizoraba en lejana perspectiva su precoz imaginación.

Hubiese transcurrido tranquila, apaciblemente, la infancia de Julio Palacios en el zaragozano campo de Cariñena si, a los pocos meses de nacer, la filoxera no hubiera arrasado, hace sesenta y dos años, cuanto en aquel suelo la naturaleza había he-



cho brotar con el sudor aldeano. Paniza se hallaba en la miseria, y su honorable médico, don Miguel Palacios Cabello, se vió forzado a trasladarse a Deza, nido de águilas en la sierra de Soria, accesible sólo por abruptos caminos tras penosa jornada de seis horas a lomos de cabalgadura. Allí, en rudo y pastoril ambiente, pasaron los ocho primeros años de Palacios, en tan íntimo y feliz contacto con la naturaleza y el pastoreo, que toda su ambición, entonces, culminaba en llegar a regir un gran rebaño y conducirlo, ágil y seguro, cual lo hacía, trepando por riscos y pedregosos senderos, hasta llegar a la sosegada sombra de centenarios árboles, al reducido y tímido hatillo de corderos y cabritillos que sus amigos los pastores le regalaban.

Da exacta idea del cerril aislamiento en que se hallaba el pueblecito de Deza, encaramado en borrascosa cumbre, el hecho de constituir asombroso acontecimiento la llegada de unas cuantas carretas de bueyes que transportaban toneles de vino. El niño Palacios, con los demás del pueblo, al saber tan extraordinaria noticia emprendieron gozosos larga caminata para salir al encuentro de aquella visita inusitada. El convoy marchaba con la lentitud del buey cansino por tortuosos senderos entre peñascos, y lo que maravilló en forma extraordinaria al futuro catedrático de Física fué el ver que las carretas avanzaban sin que éstas volteasen juntamente con las ruedas. No había visto más rueda que una enorme para moler trigo que giraba en una acequia. Supo entonces del ingenio del hombre para transformar en rectilíneo el curvilíneo movimiento de la rueda, trascendental invento que marca un hito en el progreso de la Humanidad, efemérides que se pierde en la noche de los tiempos.

Sin embargo, en el serrano pueblecito de Deza había escuela, y a ella faltaron todos los niños el famoso día del arribo del vino en carretas. Se hallaba emplazada en lo alto del cerro del Castillo, y allí, mientras sus corderillos le esperaban rumiando en las cercanías, aprendió Palacios las primeras letras bajo la férula de un maestro barbudo, que vestía blusa y calzaba alpargatas, pero que sabía enseñar con atrayente dulzura.

De aquel roquero pueblo soriano pasó Palacios al de Tamarite, de la provincia de Huesca, lo que le dió ocasión, en el tránsito, de admirar con embeleso el templo del Pilar de Zaragoza y sorprenderse ante la opulencia urbana y la actividad de



una capital nunca vista. Pero en Tamarite llegaron los días tristes y el desencanto producido por un régimen escolar rígido, de palmetazos y azotainas. Tal sistema de enseñanza, obediente al viejo lema de «la letra con sangre entra», y a consecuencia de injusto y humillante castigo —había desafinado en un coro religioso—, y el niño Palacios decidió rebelarse, y con su firme actitud y promesa de hombrecito consiguió de su padre la total independencia en el estudio, y, efectivamente, sin otro maestro que los libros y programas, pero con la poderosa ayuda de su gran fuerza de voluntad y precoz inteligencia, Julio Palacios hizo su primer examen en Huesca y obtuvo su primer triunfo.

Hay cierto paralelismo entre las andanzas escolares e infantiles travesuras de Palacios y las vividas muchos años antes por su coterráneo el inmortal don Santiago Ramón y Cajal, que correteó por los mismos parajes y se sujetó al estudio en el que fué palacio de los reyes de Aragón. Mas, las ambiciones entonces de don Julio no eran ya del orden bucólico y pastoril, aunque lo campestre le atraía con intensidad, a consecuencia de las vacaciones estivales que en el campo pasaba, donde tomaba parte activa en las faenas agrícolas, y al sentarse en el trillo, con las riendas en una mano y el látigo en la otra, se sentía feliz, cual romano vencedor en reñidas carreras de cuadrigas. Al dormir bajo el lúcido firmamento de Aragón, sobre la parva de la era, tras el aventado de la paja, sin más techo que el cielo de parpadeantes estrellas, Palacios soñaba con grandes extensiones de tierras cultivadas y se veía dirigiendo labranzas, podas, sembrados y riegos prolíficos; Palacios decidió estudiar para ingeniero agrónomo.

Con tal propósito, al terminar el bachillerato se trasladó a Zaragoza, a fin de cursar en la Facultad de Ciencias las asignaturas exigidas para el ingreso en la Escuela de Ingenieros Agrónomos; pero, llegado este ansiado instante, la realidad, con la modesta situación económica del hogar familiar, en el que bullían nueve hermanos, truncó el plan de la carrera ingenieril, y el agro español perdió un mago que hubiera hecho fructífera la más estéril tierra. Mas el sacrificio de Palacios, con su hombría de bien respecto a sus ocho hermanos menores, para sacarlos adelante ayudando a los ingresos del padre con los por él obtenidos en la preparación de carreras a otros estudiantes, no le



impidió continuar sus estudios en la Facultad de Ciencias, donde las matrículas de honor aliviaban gastos, y en la Facultad surgió nueva orientación para sus nobles ambiciones.

Grande es la influencia del profesorado sobre el estudiante, y cuando el prestigio nimba al catedrático, el joven escolar desea ser o parecerse al profesor. El estímulo reina entonces en el aula, donde resuena en el silencio la voz autorizada que expone clara, rotundamente, una teoría que parecía enrevesada. Las lecciones de Matemáticas, que explicaba Enciso; así como las de Física y Química, que el catedrático Puig daba, tuvieron la virtud de interesar profundamente en tales disciplinas a nuestro recipiendario, y éste, pese a la carga que pesaba sobre sus hombros juveniles, que su extraordinaria fuerza de voluntad y su clara inteligencia aligeraban, se licenciaba brillantemente en Ciencias Exactas y en Ciencias Físicas a la temprana edad de veinte años. Cuatro más tarde, en 1915, se doctoraba en Madrid con premio extraordinario, y al siguiente año ganaba por oposición la cátedra de Termología de la Universidad madrileña.

Larga sería la simple enumeración de los cargos que Palacios fué conquistando por su saber creciente a lo largo de su vida, así como de las obras y de los trabajos de investigación científica que ha publicado, por lo que, si ahora los omito en la lectura, es porque unos y otros se hallan tras el texto de este discurso, a modo de apéndice complementario.

\* \* \*

La firme marcha de don Julio Palacios por el amplio campo de la ciencia Física le llevó al extranjero, de donde fué llamado en múltiples ocasiones en calidad de conferenciante ilustre, y a consecuencia de una de ellas, a las lejanas islas de la Malasia, que realizó en 1935, dió a luz la obra que cité al principio y que, por su carácter narrativo y de ameno estilo, marca el violín de Ingres del hombre de ciencia, al que logra extraer notas, trémolos y armonías, que suenan gratamente en el centro auditivo y resuenan con emotivas sonoridades en el más sensible receptor anímico.

*Filipinas, orgullo de España*, se titula el libro en cuestión,



y en él vibra la nota patriótica, así como frecuentemente en él se observa al científico investigador. Así, por ejemplo, al atravesar el canal de Suez, nos describe Palacios el curioso fenómeno de la repercusión del movimiento del barco en las aguas próximas a las orillas, y dice: «Dos cataratas que avanzan, ruidosas y espumantes, a lo largo de ambos taludes, siguiendo fielmente la marcha del barco. A veces se ensancha el canal hasta convertirse en un lago y, entonces, las crestas espumosas se ven muy a lo lejos, a algunos centenares de metros, y también avanzan con el barco, sin que se vea enlace manifiesto entre unas y otro.» Y el físico explica la aparición, ante el barco, de las dos olas que avanzan, únicas, en vistosa vanguardia, por el efecto combinado de las ondas, iguales y divergentes, que el avance del buque produce en la proa, en las amuras —cual espumosos bigotes que crecen con la velocidad—, con la onda de impulsión de la hélice, y ésta, al lanzar hacia atrás y hacia arriba una masa de agua, produce, por el desnivel formado, una corriente de igual intensidad y rumbo que la velocidad del barco; pero otra onda entra en juego, la de arrastre, visible en la estela, que interfiere a las de los bigotes; se encorvan éstas hasta ponerse transversales, y la corriente se exterioriza en los extremos al romper en espumas.

Este curioso fenómeno me recuerda el que pude apreciar en el estrecho canal que une a la Goleta con Túnez, nombres que evocan la memoria del emperador Carlos V y las victoriosas luchas españolas contra el famoso pirata Barbarroja. En ese canal, semejante a una acequia que parte en dos el lago, y que constituye un puente de agua navegable entre aguas someras, la compresión que produce la marcha del barco crea una ola que avanza por la proa, a modo de heraldo, a distancia de unos dos kilómetros.

Describe el espejismo Julio Palacios al contemplar rocas e islotes que flotan en el aire caliginoso, y no se limita a la descripción verbal, sino que plasma el fenómeno óptico ilustrándolo con el gráfico justo de hábil dibujante. También la intensa fosforescencia del Mar Rojo le dicta elocuentes párrafos que encabeza con el sugestivo título de «Luces en el agua y en el aire», y, ciertamente, esas luces de azulado brillo que el plankton produce al agitar el agua en las aceitosas zonas en las que



se agrupa, llega a ser como una explosión de luz al ser cortadas por la proa de los buques. Ese brillo de los infinitos corpúsculos, pasto buscado por los peces, sirve para la captura de éstos; la silenciosa pesca se convierte en ruidosa en las rías gallegas, cuando la noche es de *ardora*. Suenan entonces los golpes que en la proa da con el remo el pescador, y la caprichosa sardina asciende a las aguas superficiales alumbrada con la luz fantasmal de la *ardora* en la noche sin luna.

Este libro de Julio Palacios es un canto nostálgico a las antiguas posesiones españolas del ultramar perdido, donde sólo como recuerdo de España van quedando las románticas ruinas de grandezas que fueron, y esto no ya por la acción del tiempo, sino por la de los hombres en las guerras. El *amok*, la fiebre destructora que blande el afilado campilán en la diestra del moro juramentado de Mindanao, se apoderó de los que allí combatieron en la segunda guerra mundial en turno terrible, arrasador, y las pétreas y solemnes edificaciones, las que nuestros antepasados erigieron en el histórico Intramuros de la interesante Manila, que parecían eternos testigos de la cultura y del culto a la fe aportada por nuestros antepasados, se derrumbaron entre explosiones de bombas, fulgor de proyectiles y llamaradas de incendios.

La termita filipina, el anay, minúsculo y terrible destructor organizado, con sus guerreros de poderosas mandíbulas, no alcanza el grado de fiera aniquiladora al que llegaron en su lucha los nipones en las preciosas islas que ostentan el nombre de aquel gran rey hispano al que sirvieron Magallanes, Elcano y Legazpi.

La lectura de este libro de Palacios, que someramente comentamos, en el que nos habla de sus impresiones al visitar la tierra de los igorotes, al norte de Luzón; de las que tuvo en las minas auríferas de Baguio; ante las bancadas de arrozales, yuxtapuestas en el empinado anfiteatro de Bontok; entre los negritos pígemeos, en selva intrincada, y en la bella Zamboanga, de la filipina Andalucía de Iloilo, evocaron en el que esto os lee las nostalgias sentidas por aquellos compañeros de profesión que me precedieron y que, a bordo, en la mar, en las guardias nocturnas de puente, me contaban sus hechos y andanzas por aquel atrayente ultramar del lejano gran Pacífico,



paraíso del marino español, siempre añorado. Me hablaban de la encantadora hospitalidad con que los acogían en las nobles casas filipinas, donde las mujeres eran para ellos la quinta esencia de la femineidad, y cuando de ellas hablaban, a la frase entusiasta, elogiadora, sucedía elocuente silencio, envolvente de algún recuerdo de amorosa emotividad. Me contaban de las difíciles y arriesgadas navegaciones por entre el dédalo de islas e islotes, sorteando bajos, contorneando arrecifes de perfil dudoso, internándose en ríos de una vegetación de exuberancia salvaje, en los que el cañonero rozaba el tupido follaje de las orillas. En ellas, árboles milenarios adornados con collares de lianas extendían en el agua grandes y retorcidas raíces cual tentáculos de gigantesco pulpo que intentaba apresar al barco audaz, violador de secretos geográficos.

Nos contaban, con voz grave, acerca de las sangrientas luchas con los nativos, de fiera acometividad; con los *datos*, al frente de tribus al acecho que, más tarde, serían amigos sinceros; nos hablaban de los *paraos* de la piratería guerrillera, esporádica, relampagueante, que surgían entre nubes de flechas, estampidos de lantacas y alaridos guerreros, y que se esfumaban, cual si fueran tragados por la espesura, en los estrechos y laberínticos afluentes del río, ante los disparos de la artillería de a bordo, en tales pasos dispuesta siempre a la acción. Por contraste, había parajes de tan hospitalarios indígenas, que provocaron el peregrino caso de un cañonero, que se creía perdido, por no saberse nada acerca de él en largo tiempo, y encontrado internado en un río, en paradisíaco paraje, acampados los tripulantes en idílica fusión con la población nativa y en despreocupado ensayo de un robinsonismo colonizador a ultranza.

\* \* \*

Desde 1919 no descansó la pluma de Julio Palacios para dar a conocer sus laboriosos trabajos de investigación. Los inició en Holanda con el estudio minucioso de las isoterms del neón y otros gases; los continuó con las estructuras cristalinas de los metales, y a éstos siguieron otros diversos trabajos que culminaron en el estudio de la miopía nocturna, descubrimiento español debido al ingeniero de Armas Navales don José Ma-



ría Otero y al físico don Armando Durán. El interesante tema de la miopía nocturna fué elegido por Palacios para su discurso de ingreso en la Real Academia Nacional de Medicina; decía: «La voluntad no puede poner en marcha el mecanismo de acomodación cuando falta el estímulo luminoso... ¿Adónde miramos cuando tenemos los ojos cerrados? Al infinito, cuando hay luz, y a medio metro, si estamos a oscuras.»

A la Academia de Medicina le llevó principalmente su obra *Física para médicos*, que inició en 1930 en forma de «complementos» y que, al adquirir gran importancia las aplicaciones terapéuticas de la Física, tomó en 1942 el volumen y consistencia de un notable libro de texto que crece en las sucesivas ediciones.

Al leer la *Física general*, que Palacios publicó en 1949, recordé el texto que a la luz de auténticas bujías esteáricas, que hachotes les llamábamos, estudiábamos los caballeros aspirantes a bordo de la fragata *Asturias*, Escuela Naval, que al principiar el siglo aún flotaba en las aguas ferrolanas. Era el *Ganot* de la novena edición española, el tratado de Física entonces en boga, y, efectivamente, la definía objetivamente, diciendo: «Propónese la Física el estudio de los fenómenos que los cuerpos presentan sin cambiar de composición. Trata, por el contrario, la Química de los fenómenos que, más o menos profundamente, modifican la naturaleza de los cuerpos.» ¡Cuán diversa es la definición, precisa y exacta, del físico Palacios! : Primera papeleta que ofrece a la Academia el nuevo compañero.

Sin embargo, aquel voluminoso *Ganot* tenía su encanto, acaso porque todo cuanto afectó nuestros sentidos en la lejana época de la niñez o de la primera juventud lo tiene siempre en la vejez; pero, realmente, ahora los tratados de Física, los de uso escolar, carecen de aquellas láminas sugestivas, de aquellas figuras del instrumental físico, como, por ejemplo, el «ludión o diablillo de Descartes»: figurita de esmalte, sostenida por una hueca esfera de vidrio, en cuyo interior había agua y aire, que, sumergida en el agua de cristalino tubo, se la hacía subir o bajar al empujar o soltar un émbolo; experimento de suspensión, inmersión y flotación, probatorio del funcionamiento de la vejiga natatoria de los peces.

Ya los libros de texto no suelen amenizarse con las ancas de



rana del galvanismo, ni con los artefactos de museo de las primeras máquinas electrostáticas, ni con aquellos globos, primeros aeróstatos de los hermanos Montgolfier. Ingenuo, inefable, es el dibujo litográfico del globo con el ancla colgando y el enlevitado aeronauta en la barquilla con la chistera en una mano y una banderita en la otra. La linterna mágica, la torre de Pisa... y tantas otras ingenuas láminas.

Mas, si nada de esto figura, por innecesario, en un tratado, cual el de Palacios, dedicado al ingreso en las escuelas de ingenieros, se observa la cautela justa del autor, al decir: «No conviene de golpe entrar en la moderna mecánica relativista de Einstein; sería sacar de quicio las cosas. Llamamos ahora Mecánica clásica a la que destruyó prejuicios mentales de los científicos de la antigüedad y Edad Media.» ¿Pero —nos preguntamos— las modernas teorías no serán también, en lo porvenir, prejuicios mentales o, al menos, balbuceos de otras que aclaren más las cosas? Mucho han cambiado las teorías. La de la luz, por ejemplo, que la estudiamos en forma ondulatoria, cual Newton la explicó, ahora la constituye partículas llamadas fotones, que vuelan a la máxima velocidad que es posible alcanzar, única limitación que parece ser existe en el Universo, pues los modernos físicos nos dicen que si algún ente o agente, del macro o del microcosmo, alcanzase tal velocidad, todo desaparecería en caos inenarrable.

Al mediar el siglo XVI el cosmógrafo Pedro de Medina escribía en Sevilla su obra inédita *Suma de cosmografía*, y en ella estampaba el siguiente concepto: «La luz, por su perfección tiene mucho de forma y de materia muy poco...; es la más noble de todas las formas corporales.» Avizoraba, el buen maestro del arte de navegar, la noble e importante calidad de la luz, que actualmente puede ser corpúsculo al nacer y al morir, y onda al propagarse. No sabía Medina que la luz tardaba un segundo en recorrer 300.000 kilómetros. La creía instantánea. Al conocerse este error, siglos después, se medían las distancias siderales por años de luz, para no escribir números en cantidad de vértigo.

La luz, mensajero de los inmensos espacios, al producirse artificialmente en la Tierra e inventarse luego la célula fotoeléctrica, reprodujo a distancia imágenes y sonidos, y, sin em-



bargo, la luz la define el Diccionario: «Agente físico que ilumina los objetos y los hace visibles»; sencillamente, cual corresponde a la brevedad que el Diccionario de la Academia exige; pero faltan en él muchas voces que aporta la moderna Física.

\* \* \*

Larga es la lista de palabras que aguarda al nuevo compañero, y en ella hay algunas nuevas voces muy difíciles de definir, si ha de cumplirse esa inevitable brevedad académica. Y se nos viene a las mientes la palabra con la que la Física designa un ente que tiene enorme trascendencia en la vida del Universo: la «entropía», que en griego significa «vergüenza, confusión», pero que no es nada de esto, aunque algún físico exprese que es una medida del desorden. La entropía es algo que crece fatalmente en toda metamorfosis, mientras queda invariable la energía. Según el físico Papp, la entropía prohíbe la vuelta, el retorno, el ciclo; porque, de dos transformaciones que conduzcan de un estado a otro, sólo es posible la que corresponde a un aumento de entropía; es decir, que la entropía mide la incapacidad creciente de transformación y señala, inexorable, la flecha indicadora hacia la quietud, hacia la muerte; concepto que trae a la memoria aquel comentario del poeta en presencia de un entierro:

Ora va el infelice por fúnebre camino;  
a donde siempre vedan, volver a los que han ido.

La entropía impone al tiempo una sola dirección, irreversible, y tiende, por lo tanto, hacia la isotropía, o sea, la muerte térmica. Tras tan sombrío concepto del fin del mundo, los físicos oponen que, pese a la implacable entropía, puede ocurrir el retorno a causa de la fluctuación. «Hay siempre movimientos bruscos de los sistemas hacia lo menos probable en su marcha hacia lo más probable.» Sobre todo, comentamos, si se tiene en cuenta que la materia es finita y el tiempo no. Al ocurrir tales circunstancias, puede suceder que el retorno sea un hecho, ya que existe la probabilidad en la infinitud del tiempo.

Don Julio Palacios, para explicar a sus alumnos el concep-



to de la entropía, les dice: «En una habitación herméticamente cerrada hay una vasija con alcohol, otra con agua caliente y un reloj en marcha. Las paredes de la habitación están térmicamente aisladas para que no pueda entrar ni salir calor. Al cabo de cierto tiempo el alcohol se ha evaporado, el agua está fría y el reloj parado, porque se le acabó la cuerda. Dentro de la habitación hay ahora la misma masa y la misma energía que antes, pues así lo exigen los respectivos principios de conservación. Y, sin embargo, algo se ha perdido, pues no es lo mismo tener alcohol líquido encerrado en un frasco, que vapor de alcohol difundido por la atmósfera; ni da lo mismo tener un salto de temperatura entre el agua y el ambiente, que tener una temperatura uniforme en toda la habitación; ni es igual que el péndulo ejecute movimientos periódicos perfectamente ordenados, y disponer de energía potencial almacenada en el muelle real, que contar tan sólo con los movimientos caóticos que el roce ha engendrado en las partículas de aire. De un modo general puede afirmarse que todo cambio que conduzca a una mayor uniformidad, sea por mezcla o combinación de cuerpos diferentes, sea por igualación de temperaturas o de presiones, sea por la conversión de movimientos ordenados en movimientos caóticos, todo cuanto represente igualación de diferencias, aun cuando no haya pérdidas ni de masa ni de energía, lleva consigo una disminución de posibilidades. El día en que en la Tierra todo sea llano y homogéneo, y en el Universo reine una temperatura uniforme, todo movimiento será imposible, aunque quede en el mundo la misma energía que hay ahora.»

Ante esta afirmación surge nuestro comentario: Si en la Naturaleza la igualdad conduce a la muerte, entre los seres debe ocurrir lo mismo y, en consecuencia, la entropía comunista no puede prosperar, y así es, en efecto; pues el retorno, el ciclo se observa a lo largo de la vida de la Humanidad con sus vaivenes sociales y políticos, y con más feroces caracteres a medida que ésta dispone de más medios destructores.

Por virtud del concepto de entropía afirmó Palacios que no es la gallina la que da calor a los huevos en el período de incubación, sino que, por el contrario, aquélla absorbe el calor de los polluelos, ya que la entropía del polluelo no puede ser mayor que la del huevo. Y, en efecto, tal aserto lo probó experi-



mentalmente valiéndose de medidas termoelectricas efectuadas en una estufa incubadora, en cuyo interior se alojaba un calorímetro que encerraba los huevos.

La Física nuclear, de la que es maestro don Julio Palacios, y que vulgarizó en ameno trabajo, subtítulo *De Leucipo a la bomba atómica*, aporta una porción de términos que más tarde o más temprano han de insertarse en el Diccionario, y es lástima que en él no tengan cabida esas definiciones lúcidas, comparativas, figuradas, tales como: el plomo es final de raza radiactiva; el electrón es un gránulo de electricidad; el neutrón es un paso intermedio entre la nada y el átomo de hidrógeno, etcétera, que Palacios enuncia en la obra citada, o, como hemos leído en alguna otra obra de otro autor: el átomo es un fruto con semillas electrónicas, cascabel con granos de plomo que, si se agita, emite ondas sonoras o luminosas. De estas comparaciones, que recuerdan al ingenioso «se parece» andaluz, supino realismo ingenuo, impresiona la relación entre el volumen del átomo y el de su núcleo, cuyos radios se hallan en la misma proporción que el cuadrante del meridiano terrestre respecto al metro; pero la semejanza que nos placía en extremo era la que ya no puede en verdad decirse, de ser el átomo la microscópica imagen de un sistema solar, donde la fuerza de la gravitación era reemplazada por fuerzas eléctricas.

\* \* \*

Con sólo pasar la vista por el índice de un libro de Palacios ya vemos una porción de voces que el Diccionario aún no ha recogido. Veamos algunas de las que se hallan en *Electricidad y magnetismo*, libro que el Ministerio del Aire publicó en 1945 y fué encomiásticamente prologado por el sabio Terradas:

«Alud electrónico», que es el agente productor de la chispa electrónica; «audió o tríodo», la válvula de tres electrodos que ideó De Forest en 1910. En la voz «rayo»: «rayo cañal» y «rayo catódico», visible el primero, luminiscente; invisible el segundo, y ambos se forman en el tubo de Geissler. En la voz «campo», faltan: despolarizante; desimanador; electromagnético. En «carga»: eléctrica, magnética, aparecen, inducida, libre, micelar, etc. En «circuito»: magnético, acoplado, ramificado. En «istmo», el magnético, llamado así por ser la



parte estrecha de un circuito magnético, donde se coloca la pieza de hierro que desea imanarse a saturación; las líneas de fuerza se ven forzadas a pasar, compactas, por el hierro en cuestión. En «viento», el «eléctrico», que se forma en la proximidad de una punta eléctrica con carga positiva al ser repelidos los iones de igual signo, creados por el alud.

No le faltará trabajo, repetimos, al nuevo académico, que afirma en su *Termodinámica aplicada*, que «no hay conocimiento científico que a la larga o a la corta no adquiera utilidad práctica», aseveración de justo optimismo, que comparto, porque no hay trabajo, por inútil que parezca, que no obtenga en mayor o menor cuantía su recompensa. Palacios siempre se preocupó de la corrección en el lenguaje, y, precisamente en la obra que acabamos de citar, inserta el siguiente concepto, en el que expresa el porqué del cuidado en la denominación: «Quizá por nuestro hábito de expresar con palabras nuestras ideas el lenguaje toma tal parte en nuestros razonamientos, que puede decirse que al pensar hablamos con nosotros mismos, aunque no articulemos las palabras; los nombres sugieren conceptos y, por otra parte, nuestros procesos de raciocinio se aligeran cuando concretamos, siquiera sea mentalmente, un concepto abstracto en un nombre».

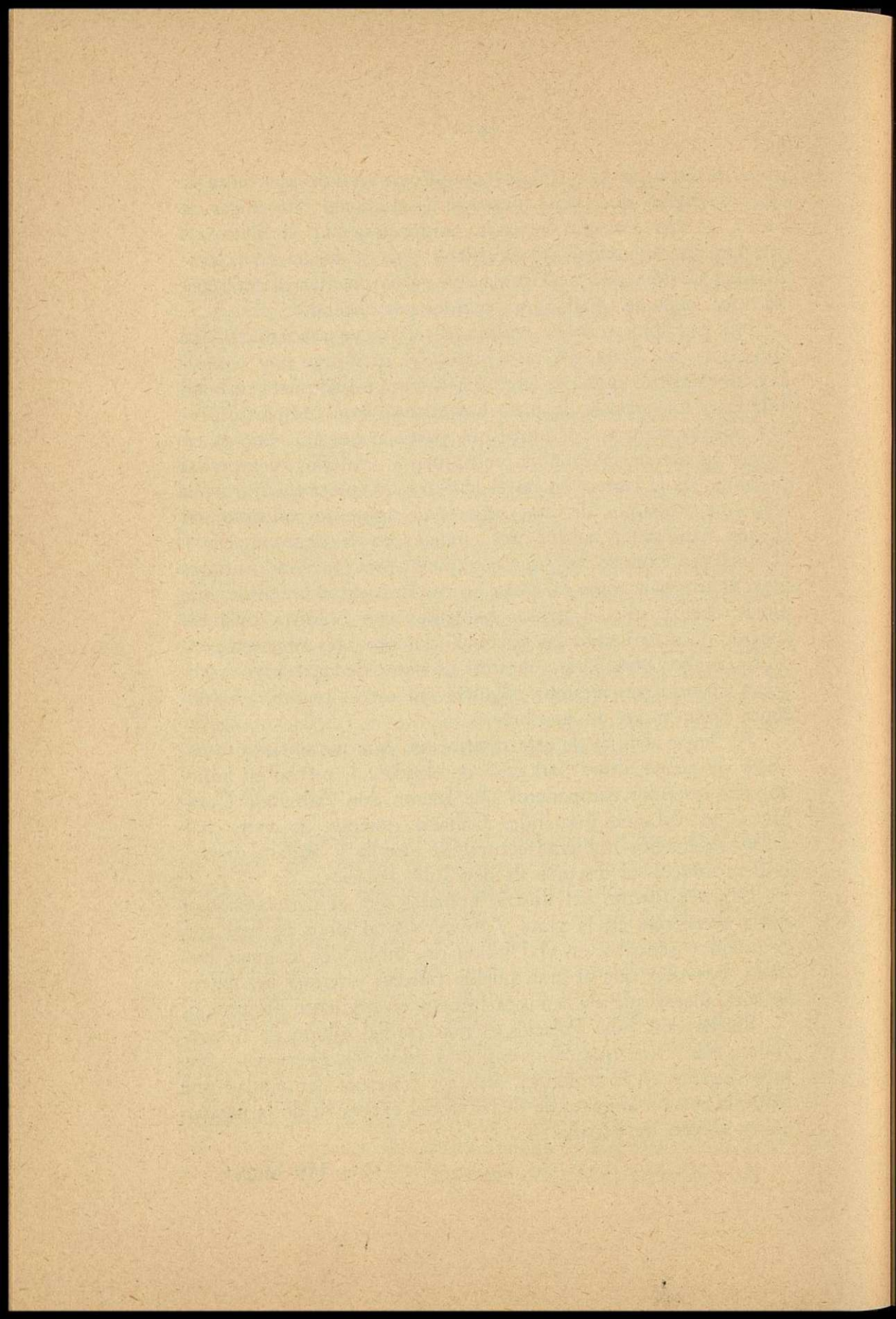
Al llegar al final de esta disertación, que me anticipo a calificar de escasa altura para caso de alzada tal, pienso en aquellos dos queridos compañeros que fueron don Armando Cotarelo y don Manuel Fernández Galiano, quienes, de vivir, cualquiera de los dos hubieran contestado amplia y brillantemente, cual se merece, al discurso de don Julio Palacios.

Digno sustituto del ilustre Terrades será el perfecto asesor de la Academia en la grata y trascendental labor de fijar con precisión y sencillez en el Diccionario, biblia del lenguaje hispano, las voces que al gran pueblo puedan interesar del extenso vocabulario que en la Física figuran en creciente progresión.

Reciba don Julio Palacios el más cordial saludo de bienvenida a esta Casa, que cobija a poetas, filólogos, escritores y técnicos, unidos en la armónica, serena y fraternal hermandad que exige la misión augusta de dictar la fiel expresión de la palabra en el idioma de España.

HE DICHO.







RESEÑA BIBLIOGRAFICA DEL EXCELENTISIMO SEÑOR  
DON JULIO PALACIOS

A raíz de su ingreso en el profesorado, el mismo año de 1916, fué pensionado por la Junta para Ampliación de Estudios y estuvo trabajando en el Laboratorio Criogénico de Leiden (Holanda) con el profesor Kamerlingh Onnes hasta que terminó la guerra.

Regresó a Madrid el año 1918 y simultaneó su labor docente en la Universidad con la investigación en el Laboratorio de Investigaciones Científicas de la Junta para Ampliación de Estudios. En el año 1930, cuando, gracias a un donativo de la Fundación Rockefeller, se organizó el Instituto Nacional de Física y Química, fué nombrado profesor del mismo, por convenio entre el Gobierno español y la citada Fundación.

El año 1934 fué nombrado profesor de la Escuela de Ingenieros Aero-náuticos.

Los mencionados cargos han sido desempeñados sin más interrupción que la motivada por la guerra civil, hasta que en el año 1947 fué invitado por el Gobierno portugués para dirigir el Centro de Estudios de Física de la Facultad de Ciencias de Lisboa. Actualmente continúa desempeñando esta misión, debidamente autorizado por el Gobierno español, y además dirige el Departamento de Física del Instituto Portugués de Oncología.

Ostentó la representación del Gobierno español en el Congreso de 'Actinología, celebrado en París el año 1929, y en el de Física Pura y Aplicada, que tuvo lugar en Londres el año 1934. Además asistió a las reuniones veraniegas que el profesor Debije organizaba en Zürich.

Formó parte de la Comisión que en el año 1927 visitó las principales universidades europeas y norteamericanas, con el fin de elaborar el proyecto de la Ciudad Universitaria fundada por S. M el Rey Alfonso XIII.

El año 1935 fué a Filipinas en misión cultural, juntamente con don Gerardo Diego, dando conferencias en las principales poblaciones del archipiélago.

En 1939 fué a Uruguay y Argentina, invitado por las Instituciones Culturales Españolas de ambas naciones, y dió cursos monográficos y conferencias diversas en Montevideo, Buenos Aires, La Plata, Rosario y Santa Fe. El año 1943 dió conferencias en las Universidades de Toulouse, Zürich, Berlín y Breslau, Lisboa, Oporto y Coimbra.

Entre los diversos cargos que ha desempeñado figuran los siguientes:



Secretario de la Comisión Española de la Unión Internacional de Física Pura y Aplicada.

Vocal del Institut International du Froid.

Presidente de la Real Sociedad Española de Física y Química.

Vocal de la Junta para Ampliación de Estudios.

Vicerrector de la Universidad de Madrid, desde 1939 a 1943.

Director de la revista *Investigación y Progreso*.

Es miembro de las Reales Academias de Ciencias y de Medicina, de Madrid, y correspondiente de las de Ciencias, de Buenos Aires, Barcelona, Zaragoza, Lisboa y de Coimbra.

Socio de honor de la Sociedad Química Argentina.

Doctor *honoris causa* por la Universidad de Toulouse.

Miembro del Colegio de Aragón.

#### TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN

*Isoterma del neón desde 10° hasta — 217° C.* En colaboración con H. Kamerlingh Onnes y C. A. Crommelin. «Leiden», núm. 154; en holandés, en los «Versl. der Kon. Akad. der Wet. te Amsterdam», 27, 1.316, 1919; en inglés, en los «Proc. Amsterdam», 22, 108, 1919; en español, en la «Rev. de la Real Academia de Ciencias», 18, 1919.

Los resultados de este trabajo han sido copiados íntegros por Henning en los «Phys. Ber.», pág. 718, 1920. Se citan y se utilizan en el libro de J. J. van Laar, «Die Zustand Gleichung», pág. 28.

*Volúmenes de los meniscos del mercurio.* «An. Soc. Esp. Fís. y Quím.», 17, 275, 1919.

Este trabajo ha sido reproducido íntegro en el «Phys. ZS.», 24, 151, 1923. Los resultados han sido copiados por Scheel en los «Phys. Ber.», 708, 1923; así como en el libro de Mellor, «Comprehensive Treatise of general Inorganic Chemistry». Se citan en la última edición del libro de Ostwald, «Messungen», Leipzig, 1925, y en las «Tables Int. de Const. et Donnés». Se copian íntegros en el «Handbuch der Experimentalphysik», VI, pág. 224.

*Presión del vapor de hidrógeno y medidas termométricas en la región del hidrógeno líquido.* En colaboración con H. Kamerlingh Onnes, «Comm. Leiden», núm. 156; «Arch. Néerl.», 6, 31, 192, y «An. Soc. Esp. Fís. y Quím.», 20, 1922.

La fórmula establecida para la tensión del vapor del hidrógeno es utilizada por Van Laar en el libro citado, págs. 86 y 227; por Verschaffelt, en «Comm. Leiden», supl. núm. 49; por van de Sande Bakhuysen. ZS. Phys. Chem.», 111, 57, 1924, y por Simon y Lange, «ZS. f. Phys.», 15, 315, 1923.

*Isotermas del hidrógeno y del hielo, realizadas con el propósito de averiguar si la comprensibilidad de dichos gases manifiestan efectos cuantistas.* En colaboración con Kamerlingh Onnes. «Comm. Leiden», núm. 164, y «Arch. Néerl.», 6, 253, 1923.

Ha sido tenida en cuenta por Verschaffelt, Keeson, E. Mathias y



- C. A. Crommelin, en recientes publicaciones. «ZS. Comm. Leiden», suplemento núm. 49, 1924; supl. núm. 52, 1925. Se copian en el «Handbuch der Experimentalphysik», VIII, 2, págs. 155 y 182; en el «Handbuch der Physik», X, pág. 382; se mencionan en el trabajo de Eucken, Karwat y Fried, «ZS. f. Phys.», 29, 1925, y en el de van Sande Bakhuyzen, «ZS. f. Phys. Chem.», 111.
- Nueva forma de la bomba de vapor de mercurio.* «An. Soc. Esp. de Fís. y Quím.», 18, 331, 1920.
- Se da cuenta de una bomba de difusión construída en el Laboratorio de Investigaciones Físicas cuando empezaban a usarse estos aparatos. Se distinguía de las usadas hasta entonces en su gran sencillez y eficacia. Todavía prestan excelentes servicios, por ejemplo, para mantener constante el grado de enrarecimiento de los tubos Roentgen con entrada de aire.
- Forma de la sección meridiana de los meniscos del mercurio.* «An. Soc. Fís. y Quím.», 18, 67, 1920. Confirmación experimental, directa y única de la teoría de Verschaffelt.
- Tensión superficial del mercurio en el vacío.* «An. Soc. Esp. de Fís. y Quím.», 18, 259, 1920. Citado en las «Tables Int. de Const. et Données». El método es original y ha sido aplicado luego por T. Batuecas y E. Lasala para medir dicha magnitud en el seno de diferentes gases. Se citan en el «Handbuch der Experimentalphysik», VI, pág. 225.
- Flujo de gases a través de tubos capilares.* «Rev. R. Acad. de Ciencias», 22, 1922.
- Se predice teóricamente y se comprueba experimentalmente una importante desviación de la Ley de Poiseuille, utilizando la bomba descrita en el trabajo precedente. El autor cree de considerable importancia este trabajo y atribuye el que no haya sido comentado en el extranjero a la escasa difusión de la revista en que se publicó.
- Teoría de la emisión en el modelo atómico de Rutherford-Bohr y de la luminosidad de los rayos canales.* «An. Soc. Esp. Fís. y Quím.», 23, 259, 1925.
- Este trabajo ha sido traducido por Wien y publicado íntegro en la revista alemana «Annalen der Physik», 79, 55, 1926. Además, se exponen y critican con gran extensión en la enciclopedia alemana «Handbuch der Experimental Physik», págs. 739-747. Extensa reseña, en los «Physikalische Berichte», 2, 1.444, 1928.
- Influencia de la temperatura sobre el paramagnetismo.* En colaboración con B. Cabrera. «An. R. Soc. Esp. Fís. y Quím.», mayo 1925.
- Teoría del paramagnetismo en los cristales.* Premiada y publicada por la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
- Interpretación de lauegramas cuando el haz incidente no coincide con ningún eje cristalográfico.* «An. R. Soc. Esp. Fís. y Quím.», 26, 215, 1928. Reseña, en los «Phys. Ber.», 1929, pág. 176.
- Sobre la estructura cristalina de la tetraedrita.* «An. R. Soc. Esp. Fís. y Quím.», 25, 1927, pág. 246.
- La estructura cristalina del bióxido de praseodimio.* En colaboración con P. Scherrer. «An. R. Soc. Esp. Fís. y Quím.», 26, 1928, pág. 309.
- Sobre la estructura del sulfato cálcico bihidratado (yeso).* En colaboración con J. Cabrera. «An. R. Soc. Esp. Fís. y Quím.», 27, 535, 1929.



- La fórmula de Gibbs Helmholtz y el concepto de afinidad.* «An. Fís. y Quím.», marzo 1930.
- La constante química del hidrógeno.* «An. Fís. y Quím.», 1930.
- La estructura fina de las aristas de absorción de los rayos X.* En colaboración con M. Velasco. «An. de Fís. y Quím.», 29, 1931, pág. 126.
- Estructura cristalina de la argentita y de la acantita.* En colaboración con R. Salvia. «An. de Fís. y Quím.», abril 1931.
- Estructura del diantraceno.* En colaboración con J. Hanstenberg. «An. de Fís. y Quím.», 30, 1932, pág. 5.
- Estudio del electrómetro de cuadrantes con la aguja aislada.* «An. de Fís. y Quím.», 30, 1932, pág. 552.
- Cinética de las reacciones regidas por un proceso de difusión.* «An. de Fís. y Quím.», 30, 1932, pág. 695.
- Método para el estudio de orientaciones cristalinas mediante el röntgen-goniómetro de Weissenberg.* En colaboración con J. Henstenberg y J. García de la Cueva. «An. de Fís. y Quím.», noviembre 1933.
- Estructura cristalina de la naftazarina.* En colaboración con R. Salvia. «An. de Fís. y Quím.», 32, 1934, pág. 49.
- Medidas fotométricas de la reflexión de los rayos X.* En colaboración con P. de la Cierva. «An. de Fís. y Quím.», 32, 1934, pág. 391; 33, 1935, pág. 34.
- Los principios fundamentales de la Mecánica relativista.* Apéndice a un trabajo de Langevin. «An. de Fís. y Quím.», 32, 1934, pág. 5.
- Estudio de orientaciones cristalinas mediante el röntgen-goniómetro de Weissenberg en hilos y láminas de aluminio.* En colaboración con J. García de la Cueva. «An. de Fís. y Quím.», 32, 1934, pág. 774.
- La estructura cristalina del sulfato cálcico bihidratado.* En colaboración con E. Galloni. «An. de Fís. y Quím.», marzo 1934, 32, pág. 779.
- Sobre el grupo especial del sulfato cálcico bihidratado.* En colaboración con L. Rivoir. «An. de Fís. y Quím.», 33, 1935, pág. 518.
- Método gráfico para el estudio de texturas con el röntgen-goniómetro de Weissenberg. Aplicación a muestras de aluminio laminado.* En colaboración con J. García de la Cueva. «An. de Fís. y Quím.».
- Las relaciones estructurales en las reacciones topoquímicas.* En colaboración con J. Garrido. «An. de Fís. y Quím.», 34, 1936, pág. 739.
- Medidas fotométricas de la reflexión de los rayos X. IV. Comparación de intensidades muy diferentes.* En colaboración con P. de la Cierva y L. Rivoir. «An. de Fís. y Quím.», 34, 1936, pág. 743.
- Estructura cristalina de los silicatos. La pirofilita.* En colaboración con Antonio Barasoain Cderiz. «Rev. de la Universidad de Madrid», 1, pág. 2, 1941.
- Las consideraciones energéticas en la mecánica de los sólidos elásticos.* «Rev. Las Ciencias», 6, 1945, pág. 35.
- La adsorción como origen de fuerzas electromotrices.* «Institución Cultural Española», Buenos Aires.
- Sobre la miopía y la presbicia nocturna.* «Portugaliae Physica», vol. I, fasc. 2, 1943.
- La fórmula de Gibbs y la llamada adsorción negativa.* En colaboración con R. Salcedo. «An. de Fís. y Quím.», XXXVII, pág. 167, 1941.



- La imantación del níquel por compresión unilateral.* En colaboración con L. Lozano Calvo. Trad. francesa, en «Port. Phys.», vol. I, fasc. 3, 1944.
- Movimiento de un sólido sometido a un par de dirección fija en el espacio.* «Rev. Las Ciencias», Madrid, 7, 1942, pág. 777.
- Movimiento de un sólido puesto en rotación por intermedio de una unión elástica.* «Las Ciencias», Madrid, 8, 1943.
- La graduación de las lentes en el siglo XVII.* «Invest. y Prog.», 15, 1944, página 1.
- La adsorción de los cationes por el carbón activo.* En colaboración con M. T. Vigón. «An. Fís. y Quím.», 41, 1945, pág. 10.
- Los nuevos métodos de propulsión en la navegación aérea.* «Inta», núm. 5, 1945.
- Los procesos termodinámicos en la propulsión inarticulada.* «Instituto Nacional de Técnica Aeronáutica», núm. 11, 1945.
- La ametropía nocturna.* «Ciencia».
- Determinación del número  $\pi$  por un método fotográfico.* Inst. de Matemát. Univers. Nacional del Litoral. Rosario, República Argentina, 1945.
- Las magnitudes y las unidades de la Física.* «Inves. y Prog.», 16, 1945, páginas 38 y 73.
- Preparación del carbón coloidal y experimentos con el mismo.* En colaboración con M.<sup>a</sup> Teresa Vigón. R. Academia de Ciencias. Madrid, 1946.
- La detonación en los motores de explosión.* En colaboración con A. Mora. «Inta», núm. 16, 1946.
- La adsorción como origen de fuerzas electromotrices.* Buenos Aires. Institución Cultural Española, 1945.
- Presión ejercida por las ondas sonoras sobre una pared perfectamente reflectora.* «Técnica», núm. 184. Lisboa, 1948.
- Potenciales de los electrodos de adsorción.* En colaboración con M. T. Vigón. «An. de Fís. y Quím.», 45, 259, 1949.
- Las dimensiones de la constante química.* «An. de Fís. y Quím.», 45, 259, 1949.
- Théorie des piles galvaniques.* «Revista de la Facultad de Ciencias de Lisboa», L, 1, 1949.
- Los isótopos radiactivos.* «Sociedade Portuguesa de Radiología Médica», 8, fasc. 1.º, 1949.
- La escala de temperaturas.* «Alfa», núm. 33, 1947, pág. 3.
- Los ultrasonidos y sus aplicaciones terapéuticas.* Conferencia en el Instituto Portugués de Oncología, publicado en Madrid por la Casa Siemens.
- La energía mueve el mundo.* «Ciencia e Investigación», 7, 297, 1948.
- La causa de la miopía nocturna.* «An. de Fís. y Quím.», 9 y 10, 589, 1948.
- Comportamiento singular del cobre en las disoluciones de cationes extraños.* «Rev. Unión Mat. Argentina», 14, 332, 1950.
- Revisión de los fundamentos de la Electroquímica.* Centenario de la Real Academia de Ciencias de Madrid, 1949.
- Electrolytic Purification of Mercury.* «Rev. da Fac. de Ciencias de Lisboa», 1952.
- La dimensión de la temperatura.* Asociación Española para el Progreso de las Ciencias. Congreso de Málaga, diciembre 1951.



- On the Electrostatic Energy of Atomic Nuclei.* «Rev. Fac. de Ciencias de Lisboa», 1952.
- La adsorption des cations par les metaux démontrée avec les traceurs radioactifs.* Comptes Rendus, 1952.
- El roentgen y las nuevas unidades de dosis.* «Clínica Contemporánea», 5, 173, 1951.
- Adsorción y canje de cationes entre metales y electrolitos y corrosión metálica.* Serie de artículos en prensa en la «Revista de la F. de Ciencias de Lisboa» y en los «An. de Fís. y Quím.».
- Electrodo de gotas.* Idem, íd.

#### NOTAS DE INFORMACIÓN Y TRABAJOS DE DIVULGACIÓN

##### *Artículos diversos sobre Física en la Enciclopedia Espasa*

- Sobre el estado superproductor de los metales.* En colaboración con C. A. Crommelin.
- Bombas para vacío elevado.*
- Estructura de los cristales.*
- Estas tres memorias han sido presentadas en la Asociación Española para el progreso de las Ciencias, Congresos de Bilbao, Oporto y Salamanca, respectivamente.
- La teoría de los cuantos y la emisión de la energía.* Discurso inaugural de la Sección 3.<sup>a</sup> en el Congreso de Coimbra de dicha Asociación.
- Los espectros de rayos roentgen y la constitución de los cristales.* Tres conferencias en el Laboratorio de Investigaciones Físicas, publicadas en «Anales de Fís. y Quím.», núm. 218 (1925), 219 y 220 (1926).
- La naturaleza de los rayos roentgen.* «Scientia», diciembre 1925.
- El estado sólido.* «Las Ciencias», XI, núm. 2.
- Las texturas cristalinas y la formación plástica de los metales.* «Las Ciencias», I, núm. 4.
- Artículos de divulgación científica en «El Debate».*
- ¿Aristóteles o Bacon? Homenaje a Zubiri.* Madrid, 1953.

#### LIBROS

- Filipinas, orgullo de España. Un viaje por las islas de la Malasia,* 1935.
- Mecánica física,* 2.<sup>a</sup> edición, en prensa, 1942.
- Física para médicos,* 3.<sup>a</sup> edición, 442 págs. y 516 figuras. Madrid, 1948.
- Electricidad y magnetismo,* 496 págs. y 196 figuras. Madrid, 1945.
- Física nuclear.* (De Leucipo a la bomba atómica), 96 págs. y 9 figs. Valencia, 1946.
- De la Física a la Biología,* 143 págs. Madrid, 1947.
- Esquema físico del mundo,* 189 págs. Madrid, 1947.



*Termodinámica aplicada.* (Máquinas térmicas. Refrigeración. Acondicionamiento del aire. Propulsores de reacción.) Madrid, 1947.

*Termodinámica y mecánica estadística.* Madrid, 1949.

*Física general.* Madrid, 1949.

#### TRADUCCIONES CIENTÍFICAS

W. GUTTMANN: *Elementos de Física.* Calpe, 1921.

F. REICHE: *Teoría de los Cuanta.* Calpe.

E. EICHWALD y A. FODOR: *Fundamentos físico-químicos de la Biología.* Calpe, 1921.

PLANCK: *Termodinámica.* Calpe.

H. DUBBEL: *Máquinas y turbinas de vapor.* Calpe.

PFANHAUSER: *Galvanotécnica.* Gili, 1925.

BAHRDT: *Sammlung Götschen. Prácticas de Física.* Editorial «Labor».

LAMLA: *Física para médicos y farmacéuticos.* Editorial «Labor».

MAHLER: *Sammlung Götschen. Colección de problemas de Física.* Editorial «Labor».

MICHAELIS: *Matemáticas para químicos y biólogos.*

EGGERT: *Tratado de Química y Física.*



