

GAZETA DE FÍSICA

Fundador: ARMANDO GIBERT

Direcção: J. Xavier de Brito — Rómulo de Carvalho — Armando Gibert — Lídia Salgueiro

Vol. I, Fasc. 7

Abril de 1948

1. TRIBUNA DA FÍSICA

FÍSICA Y FILOSOFIA

En esta série de artículos com que *Gazeta de Física* contribuye tan eficazmente a poner de manifiesto la importancia grandísima que los estudios físicos tienen en todas las actividades humanas, tócame hacer ver cómo, en el momento presente, todo filósofo necesita tener ideas claras acerca de lo que ocurre en el campo de la física. Los libros con que se trata de satisfacer esta necesidad son ya abundantísimos, y ello es la mejor prueba de que la demanda existe. Hacer de su contenido una exposición, aunque fuera muy superficial, es imposible dentro de los límites que, razonablemente, ha de tener este artículo. Me limitaré a glosar algunos párrafos de mi reciente libro *Esquema físico del mundo*, escrito expresamente para los filósofos españoles.

Cuando la física del pasado siglo, sin salir de su propio campo, engendró la técnica contemporánea, podía temerse que los mejores cerebros de la humanidad se dedicaran al cultivo de las ciencias positivas y abandonarían los temas puramente filosóficos. Por otra parte, el mundo de la realidad se presentaba como cosa sencilla y razonable; se podía ser físico sin filosofar, hacer física sin preocuparse de la metafísica. Las ciencias positivas parecían definitivamente separadas de la filosofía por una frontera bien definida, en la que estaban enclavados los sencillos axiomas o

postulados que servían de arranque para explicar el mundo real. De allí partía el físico y, vuelto de espaldas a la región en que quedaba la filosofía, no tenía que hacer otra cosa que recorrer los caminos de la realidad, alumbrado con la luz de su razón. Y lo que fué descubriendo resultó claro, pero cada vez mas complicado; cada nuevo paso exigía utilizar a fondo el aparato matemático, y lo que se ganaba en claridad se perdía en sencillez. El mundo físico no resultaba sencillo, pero se interpretaba a la perfección con las teorías matemáticas, fruto de nuestra razón; era complicado pero razonable.

Las cosas han cambiado radicalmente en lo que va de siglo. Descubrimientos que no encajan en el esquema clásico, han obligado a volver atrás, al terreno de los principios a la frontera con la filosofía. Y lo que parecía mera línea ficticia de separación, se dilata y transforma en honda y extensa comarca. Allí, en lo que era *tierra de nadie*, en el campo de la epistemología, tiene que poner sus cimientos la física. Al revisar los principios clásicos se echa de ver que no eran razonables en el sentido de claros, y que se pretendía hacer ciencia clara, esto es, racional, partiendo de postulados oscuros. Y lo peor es que, sobre no ser razonables, son insuficientes, y han de ser reemplazados por otros mas

numerosos y mas incomprensibles aún. Citemos el dualismo corpúsculo-onda; el principio de indeterminación; el comportamiento singular de los núcleos atómicos que, sin poder contener un solo electrón, sueltan electrones en abundancia; la fusión del tiempo y del espacio en una entidad superior a la que hay que recurrir para comprender el verdadero significado de las magnitudes físicas; la finitud sin límites del espacio físico y su expansión en la nada, etc. No cabe ya disfrazar estos hechos con el nombre de axiomas o postulados. Su verdadero nombre es el de misterios, sencillos e incomprensibles como los misterios religiosos. La física, a fuerza de querer ser positiva y racional, se ha hecho mística, en el sentido de misteriosa; todo su esquema matemático-racional se basa en misterios. Por no conocerlo así, se pierden las mejores inteligencias en discusiones sin fin. Por mi parte, prefiero como punto de partida un buen misterio, oscuro pero sencillo, y por eso admiro a mis brillantes colegas que, fundándose en el comportamiento corpuscular ondulatorio de las partículas elementales, han sabido descubrir la bomba atómica. Como dice Gustavo Le Bon, «cada fenómeno tiene su misterio; el misterio es el alma ignorada de las cosas».

En resumen, el renacimiento de la vocación filosófica no es una esperanza, sino un hecho, cuando menos entre los físicos. Helos ya divididos en dos bandos: deterministas o causalistas y antideterministas. Schrödinger escribe sobre la vida. Eddington, según puede verse en la traducción de su último libro y en el prólogo que para ella ha escrito Masriera, se lanza a las más atrevidas especulaciones metafísicas; hasta la cuestión de las dimensiones de las magnitudes físicas se discute desde un punto de vista epistemológico, que apasiona a los físicos ingleses, y pone las columnas de la vieja revista «Philosophical Magazine» en consecuencia con la significación clásica de su título.

A fines del siglo pasado podía parecer plausible la pauta simplista en la que Comte encajaba el desenvolvimiento del pensamiento

humano: Religión, Metafísica y Ciencia, eran tres etapas que representaban otras tantas maneras de abordar un mismo problema, cada vez con más acierto. Resulta ahora que los científicos se ven obligados a salirse del campo experimental, remontando, no descendiendo. Con ello desaparece la unanimidad; hay la sensación de pisar terreno movedizo y de que solo algo sobrehumano, la Verdad revelada es capaz de sacarnos del atolladero. Las etapas descritas por Comte son recorridas justamente al revés.

Era frecuente entre los físicos considerar la suya una ciencia positiva, ciencia de problemas concretos, a los que podía contestarse sí o no. Tal convicción, juntamente con el complejo de superioridad que nace del manejo de la matemática, era probablemente la razón del ingenuo desprecio que sentían los científicos, en especial los alumnos de ingeniería, por los estudios filosóficos. Y, sin embargo, la física ha llegado a ser lo que es gracias a que, desde sus comienzos y cada vez en mayor grado, utilizó a fondo la metafísica.

Imagínese lo que hubiera ocurrido si los físicos hubieran prescindido sistemáticamente de todo elemento metafísico. Supongamos que en una época pretérita, cuando ya había sabios pero la física estaba por hacer, es convocada una reunión para remediar la falta. El presidente dice que se trata de trazar un plan para descubrir las leyes del mundo inanimado, y advierte que se trata de hacer ciencia positiva, por lo que sólo deberá ser admitido aquello de que se tenga testimonio fidedigno.

Abierta la discusión sobre el asunto, todo hubiera terminado con el nombramiento de una o varias comisiones, como es costumbre en tales casos, a no ser porque alguien plantea una cuestión previa. Dice que no acierta a comprender las palabras del presidente, porque tomadas al pie de la letra, obligarían a que cada físico no utilizara otros *datos* que las impresiones logradas con sus propios sentidos, y que si se le obliga a tomar en consideración lo que le refieran sus colegas,

no hay razón para rechazar lo que digan los indoctos. Añade que no podrá hacerse ciencia verdaderamente positiva, a menos de que cada uno la haga por su cuenta, sin otros elementos que lo que Eddington llama el relato de los sentidos, relato que lo mismo puede ser cuento que historia y, aún en este último caso, historia fraccionada de lo que ocurre fuera. Además, lo unico positivo es el tal relato, y hablar de un mundo exterior es mezclar un elemento metafísico. Por otra parte, añade el interruptor, si es problemática la existencia de tal mundo exterior, mucho más discutible es que haya leyes que lo rijan. La futura ciencia no puede tener como objeto la descripción de un mundo hipotético con sus leyes ilusorias, sino que ha de atenerse a las sensaciones y sacar de ellas el mejor partido posible. Todo lo demas será hacer metafísica, no ciencia positiva.

La discusión no tuvo otro resultado que provocar una variadísima diversidad de opiniones. Surgieron los empiristas, los escépticos, los solipsistas, los positivistas, con gran variedad de grupos y subgrupos. Todos ellos, más o menos conformes con el interruptor, se dispusieron a hacer física sin metafísica, pero no se sabe que ninguno hiciera nada de provecho, salvo el explicar a *posteriori* las causas del derrumbamiento de algunas teorías elaboradas por quienes ingenuamente empezaron a hacer física sin preocuparse de cuestiones previas. Como prueba del fracasso del positivismo basta citar un hecho anedótico. Su fundador, Augusto Comte, afirmó que jamás podría averiguarse la constitución de las estrellas; el análisis espectral se encargó de desmentir rotundamente su afirmación.

Los datos que suministra el mero relato sensorial, constituyen una base demasiado estrecha. La física se ha construido gracias a que los físicos no han tenido escrúpulos en introducir elementos metafísicos, sin otras limitaciones que las impuestas por la lógica: no incurrir en contradicciones. Su imaginación y su fantasía han quedado libres para atribuir las sensaciones a la existencia de un

mundo real, y para hacer todo género de hipótesis acerca del mismo, y, lo que es más atrevido, han empleado sin travas algo extraño a toda logica y razón, eso que se llama «buen sentido», especie de arma defensiva de eficacia tan dudosa, que lo mismo puede servir para evitar desatinos que ser la causa de que no se atine.

El relato sensorial no es el sujeto de la física, sino el medio para conocer el mundo real. Los sentidos, em lugar de ser la fuente del conocimiento, son los instrumentos de que nos servimos para captar la realidad. Como dice Zubiri, la física ha surgido por el *ansia de la realidad* porque el mundo *está ahí* instándonos a que lo conozcamos. Las ideas no son *de* las sensaciones, son *de* las cosas.

No es cuento el relato sensorial, es historia, quizás incompleta, pero historia. Contiene todo lo que es patente en la realidad. Es la apariencia del mundo real. Gracias a él tenemos una física que no es la física de las sensaciones, sino la física del mundo real. Claro es que sólo podremos hacer física de aquella parte del mundo real que no es aparente, pues si hay algo que no sea perceptible, mediata o inmediatamente, por sí o por sus efectos, quedará descartado de la física.

«De lo que es una silla no podré saber más que lo que me cuentan los sentidos». Esto he leído siempre que ha caído en mis manos algún escrito filosófico. Eddington concreta más, pues afirma que, si de lo que se trata es de hacer física, de los cinco sentidos nos sobran cuatro y medio, porque para hacer medidas basta un ojo, que ni siquiera necesita percibir los colores. De lo que la realidad nos brinda se desecha casi todo al hacer física. Ya Goethe se indignaba con Newton porque, para averiguar qué es la luz, se encerraba en una habitación oscura y abría un agujerito en la ventana. De ser cierto que los físicos se conforman con datos tan rudimentarios para elaborar su ciencia, estaría justificado el que, al desprecio que los estudiantes de ingeniería sienten por sus compañeros de filosofía, correspondan los filó-

sofos desdeñando a los investigadores, y consideren que el manejar aparatos no es función digna de una mentalidad superior.

Pero, ¿realmente la física se ha hecho con tan precarios elementos? Es claro que no. De la silla sabemos más, mucho más de lo que resulta de su forma, color, peso, etc., porque sabemos cómo se hace y para qué sirve, cosas que en modo alguno, nos son reveladas por las impresiones sensoriales, y justamente, ante cualquier artefacto desconocido, lo que más curiosidad nos inspira es saber cómo está construido y cual es su empleo. Pues bien; el físico empieza por tener de las cosas las mismas impresiones sensoriales que tiene cualquier otro hombre con el uso cabal de sus cinco sentidos, pero, además, experimenta con aparatos cuya construcción y finalidad le son conocidos y, sobre todo ello, *medita*.

La actividad mental es estimulada por las impresiones que transmiten los sentidos. Las sensaciones son los *datos* con que hemos de construir el mundo real. De ellas inferimos la existencia de cosas. Unas, como causa inmediata de las sensaciones o de los efectos registrados por los aparatos; son las observables. Otras, como ficciones necesarias o convenientes para construir el esquema físico; son las inobservables. Estas últimas no afectan ni nuestros sentidos ni los aparatos, sino es a través de las observables.

Un fotón es observable porque impresiona nuestra retina, y lo mismo ocurre con las partículas elementales libres y con los átomos, porque impresionan las placas fotográficas. En cambio, las mismas partículas, protones, neutrones e electrones, son inobservables individualmente cuando están unidas entre sí formando átomos.

Si queremos tener la representación de un personaje, lo más completa posible, grabaremos su figura, sus movimientos y su voz en películas cinematográficas, mediremos su fuerza muscular, su capacidad torácica, su metabolismo, haremos radiografías y, en fin, formaremos un archivo con todos sus datos antropomórficos, con todo lo que es aparente

en el personaje. Si la labor descriptiva se realiza con escrupulosa exactitud y no se omite ningún pormenor, el más exigente habrá de darse por satisfecho.

Pero podría haber algo mejor. Supóngase que alguien descubre que, para caracterizar al personaje de modo completo, sobran datos en el archivo, que bastan unos cuantos, convenientemente elegidos, para que todos los *damás* puedan deducirse de aquéllos mediante ciertas recetas o fórmulas y, lo que sería más asombroso, que podría predecirse con tales datos, con grandes probabilidades de acierto, el comportamiento del personaje en cada circunstancia de su vida. Entonces podría decirse que se había logrado una reproducción cabal del personaje, la verdadera imagen o esquema de cuanto en él hay de aparente.

Pues justamente esto es logrado por la física. Sin detenerse ante cuestiones previas, dieron por segura la existencia de un mundo real y la posibilidad de conocerlo, al menos parcialmente, por lo que de él nos revelan los sentidos. A todo positivista ha de parecerle insensato adoptar tal actitud cuando se trata justamente de buscar realidades y no fantasías, pero ahora que vemos el resultado, hemos de felicitarnos de que así fuese.

Volviendo al supuesto congreso de sabios encargados de construir la física, la solución sensata en vista de que, en pura lógica, no era posible saber quien tenía razón, si los positivistas o sus contrarios los metafísicos, sería dejar que cada uno ensayase su sistema y ver quien obtenía resultados más provechosos. La prueba ha sido hecha, y el veredicto es enteramente favorable a los físicos que, por no querer renunciar al uso de todas sus facultades mentales, añadieron a los datos sensoriales todo un complejo de elementos metafísicos. Gracias a ello, en lugar de un archivo en el que se guardasen, mejor o peor ordenadas, las descripciones que del mundo real nos hacen los sentidos, tenemos un *esquema del mundo real* plasmado en fórmulas matemáticas, que permite reproducir a voluntad los fenómenos en los laboratorios, y con el que se efectúan los maravillosos

inventos que constituyen el orgullo de la moderna técnica.

Con lo que nos cuentan nuestros sentidos, relato lleno de episodios anecdóticos, incoherentes casi siempre, contradictorios muchas veces, se ha podido escribir la verdadera historia: el esquema que puede reemplazar al mundo real en cuanto tiene de observable, que es lo que nos interesa.

La parte más importante en la construcción del esquema físico corresponde a la meditación; todo lo demás son petrechos para meditar. No se trata ahora del ensimismamiento que preconiza Ortega, sino de evocar la realidad, de construir su imagen con todos los elementos acumulados en nuestro entendimiento gracias a nuestras vivencias, a los sucesos de que hemos sido testigos, a todo lo que hemos aprendido sea como fuere.

Michelson cerró un ojo y miró con el otro por su interferómetro. Hizo unas lecturas, apuntó números en su cuaderno y, con estos datos, dedujo que «el movimiento de la Tierra no influye sobre la velocidad de propagación de la luz». Divulgó su descubrimiento y ello motivó que se pusieran a meditar los mejores cerebros del mundo; y sucedió que Einstein, que no tenía del experimento la menor información sensorial directa, dedujo su maravillosa teoría de la relatividad, el esquema más perfecto del mundo.

De ello sacamos la consecuencia de que no se medita sobre las impresiones sensoriales inmediatas, sino sobre ideas y conceptos. Ni Michelson, ni mucho menos Einstein, meditaron sobre las franjas de interferencia, los hilos del retículo o lo que se leía en el tambor del micrómetro cuando aquellas coincidían con éstos. En su proceso meditativo manejaron conceptos tales como movimientos ondulatorios, longitudes de onda, diferencias de fase, velocidad de los cuerpos, velocidad de propagación del movimiento ondulatorio, etc., conceptos que en modo alguno son susceptibles de ser captados directamente por los sentidos.

El primer requisito para la meditación es la posesión de conceptos, y los conceptos no

surgen directamente de lo que nos cuentan los sentidos, sino que son creación de la mente, fruto de la meditación. Y ocurre que, a pesar de ello, tienen los conceptos más pretensiones de realidad que las mismas impresiones sensoriales, porque éstas son de las cosas en colaboración con los sentidos, mientras que aquéllos resultan de un proceso de deshumanización. Así, la impresión muscular a que atribuimos el peso de los cuerpos, se desdobra, gracias a las meditaciones de Galileo y de Newton, en dos conceptos, la fuerza y la masa, que habían de ser elementos fundamentales para todas las meditaciones subsiguientes, prueba de que su realidad ha sido aceptada unánimemente a pesar de que a ningún sentido se revela la masa de un cuerpo en reposo ni las fuerzas que sobre él actúan cuando está en equilibrio.

Más notable aún es el concepto de la energía, que no fué percibido con claridad hasta hace cosa de un siglo. Ningún sentido es capaz de percibir la energía contenida en un cuerpo y, sin embargo, es algo tan real que se compra y se vende, cosa que no sucede con la blancura, la rugosidad, con todo que es mera impresión sensorial de las cosas. Y justamente en el caso de la energía es donde mejor se manifiesta lo que hemos llamado deshumanización de los conceptos. La energía cinética de un cuerpo depende de su velocidad con relación al observador. Es, lo mismo que la velocidad, un concepto subjetivo que cada uno aprecia a su manera. Para explicar el experimento de Michelson, tuvo necesidad Einstein de dar carácter relativo a impresiones sensoriales tan objetivas aparentemente como son la longitud de las barras rígidas y la duración de los sucesos. Hasta la masa se convirtió en un concepto relativo, pues resulta variar con el movimiento del observador con relación al objeto. Pues bien; con parejas de conceptos relativos tales como la posición y el tiempo, o la masa y la energía, construyó Einstein conceptos a los que ha de atribuirse carácter absoluto, conceptos deshumanizados, como son el espacio-tiempo y la masa-energía, que

son igualmente apreciados por todos los observadores, cualquiera que sea su estado de movimiento.

Todo esto nos lleva a la conclusión de que el esquema físico no está construido solamente con lo que nos dan los sentidos, sino que se agregan los conceptos que, si bien elaborados por la mente, se refieren a las cosas. Las

partículas elementales, cuando están ligadas formando los núcleos atómicos, no son datos de observación, son creaciones mentales y, sin embargo, son indispensables para crear el esquema físico.

JÚLIO PALACIOS

DIRECTOR DEL CENTRO
DE ESTUDIOS DE FÍSICA DE LISBOA

2. ENSINO MÉDIO DA FÍSICA

À CERCA DA UNIDADE MÉTRICA DE MASSA

A presente secção do ensino médio tem duas finalidades essenciais: uma, apreciar o ensino da Física no curso liceal; outra, esclarecer os estudantes que muitas vezes se queixam da má compreensão de certas noções. Aqui nos encontramos ao seu dispor e, dentro desse espírito, vamos tratar dum assunto que nos parece de importância capital.

Durante o estudo da Física, há muitas ocasiões em que os alunos têm de referir-se à proporcionalidade directa entre os valores de duas grandezas como sejam: os valores dos caminhos percorridos por um corpo animado de movimento uniforme e os valores dos tempos gastos em percorre-los; os valores das forças com que duas massas magnéticas se solicitam mutuamente e os valores dessas massas, etc.

Os alunos sabem repetir estas palavras, com maior ou menor correcção, sabem traduzir matematicamente aquelas relações, sabem dizer o que se entende por grandezas directamente proporcionais, mas, em geral, embora se julguem seguros do que dizem, nem sempre o estão. A verificação é fácil de fazer-se. Ponha-se a um aluno do 7.º ano esta questão infantil: 1 dúzia de laranjas custa 8 escudos; 2 dúzias, 16 escudos; 3 dúzias, 24 escudos e assim sucessivamente. Existe alguma relação entre o número de laranjas e o seu preço? O aluno responde: «São grandezas directamente proporcionais.» «Então, se chamar D ao número de dúzias

e E ao número de escudos que elas custam, represente, matematicamente, a relação entre o número de dúzias e o número de escudos. Isto é, entre D e E ».

A resolução deste problema simples é de extrema importância pois do seu conhecimento depende a compreensão de muitos factos da Física. Os estudantes liceais, para quem estou a escrever, não conhecem (com raríssimas excepções) nem a inocente resolução do caso nem o proveito que podem tirar dela.

Formemos o seguinte quadro onde figuram, em linhas horizontais, os números de dúzias (D) e os respectivos preços (E).

D —	1	2	3	4	5 ...	(dúzias)
E —	8	16	24	32	40...	(escudos)

Feito isto pergunto: quanto custam 30 dúzias de laranjas? Olhando o quadro responder-se-á imediatamente: 240 escudos, pois se 3 custam 24, as 30 custarão 240. E agora pergunto: quanto custam 6,5 dúzias? A resposta não é imediata e o pensamento de quem a der, esquematizar-se-á nesta proporção: «Se 1 dúzia custa 8 escudos, 6,5 dúzias custarão x escudos».

E se eu não estabelecer nenhum valor particular para o número de dúzias e perguntar apenas quanto custam D dúzias? O raciocínio será como o anterior: «se 1 dúzia custa 8 escudos, D dúzias custarão E escudos». Isto é: 1 está para 8 como D está para E . Ou: $1/8 = D/E$ ou ainda $D = 1/8E$.