



## **¿Adónde va la ciencia?**

Algunos hombres se dedican a la ciencia, pero no todos lo hacen por amor a la ciencia misma. Hay algunos que entran en su templo porque se les ofrece la oportunidad de desplegar sus talentos particulares. Para esta clase de hombres la ciencia es una especie de deporte en cuya práctica hallan un regocijo, lo mismo que el atleta se regocija con la ejecución de sus proezas musculares

## Índice

[Prologo](#)

[Introducción](#)

I: [Cincuenta años de ciencia](#)

II: [¿Es real el mundo externo?](#)

III: [La imagen del universo físico en la ciencia](#)

IV: [Causalidad y libre albedrío la respuesta de la ciencia](#)

V: [Desde lo relativo a lo absoluto](#)

[Epílogo](#)

[Autor](#)

## **Prologo**

### **Por Albert Einstein**

Algunos hombres se dedican a la ciencia, pero no todos lo hacen por amor a la ciencia misma. Hay algunos que entran en su templo porque se les ofrece la oportunidad de desplegar sus talentos particulares. Para esta clase de hombres la ciencia es una especie de deporte en cuya práctica hallan un regocijo, lo mismo que el atleta se regocija con la ejecución de sus proezas musculares. Y hay otro tipo de hombres que penetran en el templo para ofrendar su masa cerebral con la esperanza de asegurarse un buen pago. Estos hombres son científicos tan sólo por una circunstancia fortuita que se presentó cuando elegían su carrera. Si las circunstancias hubieran sido diferentes podrían haber sido políticos o magníficos hombres de negocio. Si descendiera un ángel del Señor y expulsara del Templo de la Ciencia a todos aquellos que pertenecen a las categorías mencionadas, temo que el templo apareciera casi vacío. Pocos fieles quedarían, algunos de los viejos tiempos, algunos de nuestros días. Entre estos últimos se hallaría nuestro Planck. He aquí por qué siento tanta estima por él.

Me doy cuenta de que esa decisión significa la expulsión de algunas gentes dignas que han construido una gran parte, quizá la mayor, del Templo de la Ciencia, pero al mismo tiempo hay que convenir que si los hombres que se han dedicado a la ciencia pertenecieran tan sólo a esas dos categorías, el edificio nunca hubiera adquirido

las grandiosas proporciones que exhibe al presente, igual que un bosque jamás podría crecer si sólo se compusiera de enredaderas.

Pero olvidémonos de ellos. *Non racionam di lor.* Y vamos a dirigir nuestras miradas a aquellos que merecieron el favor del ángel. En su mayor parte son gentes extrañas, taciturnas, solitarias. Pero a pesar de su mutua semejanza están muy lejos de ser iguales a los que nuestro hipotético ángel expulsó.

¿Qué es lo que les ha conducido a dedicar sus vidas a la persecución de la ciencia? Difícil es responder a esta cuestión, y puede que jamás sea posible dar una respuesta categórica.

Me inclino a aceptar con Schopenhauer que uno de los más fuertes motivos que conduce a las gentes a entregar sus vidas al arte o a la ciencia es la necesidad de huir de la vida cotidiana con su gris y fatal pesadez, y así desprenderse de las cadenas de los deseos temporales que se van suplantando en una sucesión interminable, en tanto que la mente se fija sobre el horizonte del medio que nos rodean día tras día.

Pero a este motivo negativo debe añadirse otro positivo. La naturaleza humana ha intentado siempre formar por sí misma una simple y sinóptica imagen del mundo circundante: En consecuencia, ensaya la construcción de una imagen que proporcione cierta expresión tangible de lo que la mente humana ve en la naturaleza. Esto es lo que hacen, cada uno en su propia esfera, el poeta, el pintor y el filósofo especulativo. Dentro de este cuadro coloca el centro de gravedad de su propia alma, y en él quiere encontrar el reposo y equilibrio que no puede hallar dentro

del estrecho círculo de sus agitadas reacciones personales frente a la vida cotidiana.

Entre las diversas imágenes del mundo formadas por el artista, el filósofo y el poeta ¿qué lugar ocupará la imagen del físico teórico? Su principal cualidad debe ser una exactitud escrupulosa y una coherencia lógica que sólo el lenguaje de las matemáticas puede expresar. Por otra parte, el físico tiene que ser severo y abnegado respecto al material que utiliza. Debe contentarse con reproducir los más simples procesos que se ofrecen a nuestra experiencia sensorial, pues los procesos más complejos no pueden ser representados por la mente humana con la sutil exactitud y la secuencia lógica que son indispensables para el físico teórico.

Incluso a expensas de la amplitud tenemos que asegurar la pureza, claridad y exacta correspondencia entre la representación y la cosa representada. Al darnos cuenta de que es muy pequeña la parte de la naturaleza que así podemos comprender y expresar en una fórmula exacta, mientras tiene que ser excluido todo lo más sutil y complejo, es natural preguntarse: ¿qué tipo de atracción puede ejercer esta obra? ¿Merece el pomposo nombre de imagen del mundo el resultado de una selección tan limitada?

Creo que sí, pues las leyes más generales sobre las cuales se construye la estructura mental de la física teórica tienen que ser derivadas estudiando en la naturaleza incluso los fenómenos más sencillos. Si son bien conocidos, hay que ser capaz de deducir de ellos, mediante el razonamiento puramente abstracto, la teoría de todos los procesos de la naturaleza, incluyendo los de la vida

misma. He querido decir teóricamente, pues en la práctica tal proceso de deducción está mucho más allá de la capacidad del razonamiento humano. Por tanto, el hecho de que en la ciencia tengamos que contentarnos con una imagen incompleta del universo físico no es debido a la naturaleza del universo, sino más bien a nosotros mismos.

Así, la labor suprema del físico es el descubrimiento de las leyes elementales más generales a partir de las cuales puede ser deducida lógicamente la imagen del mundo.

Pero no existe un camino lógico para el descubrimiento de esas leyes elementales. Existe únicamente la vía de la intuición, ayudada por un sentido para el orden que yace tras de las apariencias, y este *Einfuehlung* se desarrolla por la experiencia. ¿Es posible, pues, decir que cualquier sistema de física puede ser igualmente válido y admisible?

Teóricamente nada hay de ilógico en esta idea. Pero la historia del desarrollo científico enseña que de todas las estructuras teóricas imaginables, una sola demuestra ser superior a las restantes en cada período por el que atraviesa el progreso de la ciencia.

Todo investigador que tenga experiencia sabe que el sistema teórico de la física depende del mundo de la percepción sensorial y está controlado por él, aun que no exista un camino lógico que nos permita elevarnos desde la percepción a los principios que rigen la estructura teórica. De todos modos, la síntesis conceptual que es un trasunto del mundo empírico puede ser reducida a unas cuantas leyes fundamentales sobre las cuales se construye lógicamente toda

la síntesis. En cualquier progreso importante, el físico observa que las leyes fundamentales se simplifican cada vez más a medida que avanza la investigación experimental. Es asombroso ver cómo de lo que parece ser el caos surge el más sublime orden. Y esto no puede ser referido al trabajo mental del físico, sino a una cualidad que es inherente al mundo de la percepción. Leibniz expresaba adecuadamente esta cualidad denominándola armonía preestablecida.

Los físicos combaten algunas veces a los filósofos que se ocupan de las teorías del conocimiento, alegando que estos últimos no llegan a apreciar completamente este hecho.

Yo creo que ésa fue la base de la controversia entablada hace pocos años entre Ernst Mach y Max Planck. El último tuvo probablemente la sensación de que Mach no apreciaba completamente el afán del físico por la percepción de esta armonía preestablecida. Este afán ha sido la fuente inagotable de la paciencia y persistencia de que ha hecho gala Planck al dedicarse a las cuestiones más comunes que surgen en relación con la ciencia física, cuando hubiera podido intentar otras vías que le condujeran a resultados más atrayentes.

Muchas veces he oído que sus compañeros tienen la costumbre de atribuir esa actitud a sus extraordinarios dones personales de energía y disciplina. Creo que están en un error. El estado mental que proporciona en este caso el poder impulsor es semejante al del devoto o al del amante. El esfuerzo largamente prolongado no es inspirado por un plan o propósito establecido. Su inspiración surge de un hambre del alma.

Estoy seguro de que Max Planck sonreirá ante mi infantil manera de escudriñar con la linterna de Diógenes. ¡Bueno! Pero ¿para qué hablar de su grandeza? Su grandeza no necesita mi modesta confirmación. Su obra ha dado al progreso de la ciencia uno de los más poderosos impulsos. Sus ideas serán útiles en tanto que persista la ciencia física. Y espero que el ejemplo que brota de su vida no será menos útil para las próximas generaciones de científicos.

*Albert Einstein*

## Introducción

### Max Planck: Un bosquejo biográfico

Por James Murphy

Un día del mes de junio de 1932 hice una visita a Albert Einstein en su casa veraniega de Caputh, situada a veinticinco kilómetros al oeste de Berlín. Después del té, en larga sobremesa, se discutió acerca de multitud de temas, desde las probabilidades de los diversos partidos políticos en las próximas elecciones, hasta las probabilidades del descubrimiento, decisivo de alguna simple fórmula para la unificación de todas las leyes físicas. La casa, construida sobre una ladera, abría sus ventanas sobre un hermoso lago, y en el piso superior se extendía una galería comparable a la espaciosa plataforma de un observatorio astronómico. Allí se hallaba un telescopio con el que Einstein se divertía contemplando las estrellas. Cuando llegó el crepúsculo, y el brillante resplandor solar, que durante todo el día reflejó sobre el lago, se trocó en una suave claridad, paseamos por la galería para observar la puesta del sol y hacer tiempo hasta que estuviera preparada la cena. Dentro de la casa, la crisis política había sido el tema central de la conversación, pero allí, en medio de la armonía natural del lago, del bosque y del crepúsculo, surgieron problemas más elevados.

El nombre de Max Planck se pronunció en nuestra charla, y con él surgieron los diversos problemas filosóficos a que la teoría de los cuantos ha dado lugar. Ante mis arrebatados comentarios Einstein replicaba casi invariablemente: "*Nein, das kann man nicht sagen*"

("No, esto no se puede decir"). Pero cuando yo emitía algún concepto menos exaltado, reflexionaba durante un momento y afirmaba: "*Ja, das können Sie sagen*" ("Sí, esto puede Vd. decirlo"). Creo que llegamos a la conclusión de que aunque la teoría de la relatividad ha apresado el interés del mundo, la teoría de los cuantos ha sido una fuerza más fundamental para provocar la revolución moderna del pensamiento científico.

Fué entonces cuando solicité de Einstein me escribiera una introducción para un libro de ensayos de Planck que iba a ser publicado en inglés. Einstein puso reparos a mi petición, diciendo que sería presuntuoso por su parte presentar a Max Planck al público, y que la teoría de los cuantos no necesita de la luz reflejada de cualquier astro menor para mostrar su brillo. Ésta era la posición de Einstein respecto a Planck, expresada con una enfática ingenuidad.

Aclaré que el libro en cuestión estaba dirigido al gran público, y que aunque el nombre de Planck es familiar en Alemania y entre los hombres de ciencia de todo el mundo, no es tan popular en los países de habla inglesa como el del fundador de la teoría de la relatividad.

Einstein no creía que se tratara de una circunstancia lamentable y le hubiera complacido que las cosas fueran exactamente lo contrario. El punto de vista por mí mantenido era que es una buena regla de lógica definir lo menos conocido valiéndose de lo mejor conocido, sin parar mientes en los méritos objetivos que esto o aquello pudiera tener. Se sometió ante la fuerza de este argumento y

aceptó escribir una breve introducción, insistiendo, sin embargo, en que sería breve para no parecer pretencioso.

Este capítulo no es una ampliación a la introducción de Einstein, es más bien un bosquejo biográfico puramente objetivo. Mi primer propósito es establecer el lugar que el autor de los siguientes capítulos ocupa en el desarrollo moderno de la ciencia física. Me esforzaré, pues, para presentar al lector, del modo más sencillo y vivaz que pueda, la personalidad de Max Planck, su carrera científica, su posición en lo que respecta a la física teórica como fuerza intelectual en el mundo de nuestros días, la filosofía de su vida, sus simultáneas actividades como ciudadano y maestro, y, finalmente, su situación y prestigio entre su propio pueblo.

La primera parte de esta tarea puede ser facilitada recurriendo a la opinión de algunos compañeros de Planck para definir el lugar que éste ocupa en el desenvolvimiento general del progreso científico moderno.

¿Qué significación tiene el nombre de Max Planck en la historia de la física? La respuesta a esta pregunta puede formularse puntualizando la posición que ocuparía el retrato de Max Planck en una exposición que representase el desarrollo de la ciencia. Al fondo de una larga galería hallaríase un recodo y un amplio espacio o ángulo en la pared. En este espacio pendería el retrato de Max Planck con una mano despidiéndose amablemente del pasado clásico y con la otra señalando un nuevo corredor donde la pintura apenas se habría secado en los retratos que colgarían de sus paredes: Einstein, Niels Bohr, Rutherford, Dirac, Eddington, Jeans,

Millikan, Wilson, Compton, Heisenberg, Schrödinger, etcétera., Sir James Jean, en su popular librito *El Universo misterioso*, describe así su posición<sup>1</sup>

*"A finales del siglo XIX fue por primera vez posible estudiar el comportamiento de la molécula, del átomo y del electrón. El siglo se ha prolongado suficientemente para que la ciencia descubriera que ciertos fenómenos, la radiación y la gravitación en particular, resistían a todos los ensayos de explicación puramente mecánica. Mientras los filósofos están aún discutiendo si puede ser construida una máquina para reproducir los pensamientos de Newton, la sensibilidad de Bach o la inspiración de Miguel Ángel, el tipo medio de hombre de ciencia se ha convencido rápidamente de que es imposible construir máquinas que reproduzcan la luz de una bujía o la caída de una manzana. Entonces, en los últimos meses de la centuria pasada, el profesor Max Planck, de Berlín, realizó una tentativa para explicar ciertos fenómenos de radiación que hasta aquel día no habían podido ser interpretados. Su explicación no sólo era no-mecánica en su naturaleza, sino también parecía imposible relacionarla con cualquier pensamiento inspirado en el terreno de la mecánica. Por esta razón fue grandemente criticada, atacada e incluso ridiculizada. Pero Planck demostró brillantemente su exactitud, y luego la desarrolló en la moderna teoría de los cuantos, que constituye uno de los principios dominantes de la física moderna. También, aunque esto no se*

---

<sup>1</sup> *The Mysterious Universe*, 1932, págs. 16 y 17.

*llegó a comprender en aquel momento, su hallazgo marca el fin de la era mecánica de la ciencia y la aparición de una nueva era".*

Otro científico inglés, Lord Rutherford, expresa así su estima por su colega alemán:

*"La figura de Planck es familiar entre los hombres de ciencia de todos los países, quienes están de acuerdo en su admiración por sus importantes contribuciones a la ciencia física."*

*"En la actualidad, cuando la teoría de los cuantos ha sido aplicada triunfalmente a tan diferentes campos de la ciencia, es difícil darse cuenta de lo extraña y casi fantástica que debió parecer esta nueva concepción de la radiación a los científicos de hace treinta años"*

Al principio se tropezó con dificultades para la obtención de pruebas exactas acerca de la exactitud de la teoría y de las deducciones que de ella es posible hacer. A este respecto puedo referirme a los experimentos hechos por el profesor Geiger y por mí mismo en el año 1908. La aceptación por mi parte de la deducción de  $e$  que hiciera Planck ( $e$  es la carga eléctrica elemental y el valor se expresa en unidades electrostáticas), me convirtió en uno de los primeros partidarios de la idea general del cuanto de acción. Fui, en consecuencia, capaz de proceder con ecuanimidad, e incluso de

incitar a la audaz aplicación de la "teoría de los cuantos realizada por el profesor Bohr"<sup>2</sup>.

La significación del hallazgo de Planck es descrita del modo siguiente por el famoso físico danés Niels Bohr.

*"Pocos son los descubrimientos que en la historia de la ciencia han producido tan extraordinarios resultados, dentro del breve plazo de una generación, como aquellos que han surgido directamente del descubrimiento del cuanto elemental de acción debido a Max Planck. Este descubrimiento ha sido prolífico, pues, en progresión siempre creciente, ha proporcionado medios para la interpretación y armonización de los resultados obtenidos por el estudio de los fenómenos atómicos, estudio que ha hecho maravillosos progresos en los últimos treinta años. Pero la teoría de los cuantos ha hecho algo más. Ha provocado una revolución radical en la interpretación científica de los fenómenos naturales. Esta revolución es la consecuencia directa de las teorías y conceptos nacidos de la sorprendente obra llevada a cabo por Max Planck al estudiar las "radiaciones de cavidad". En el transcurso de treinta años esas teorías y conceptos se han ampliado y desarrollado, dando lugar a esa elaboración científica que se denomina teoría de los cuantos. La imagen del universo formada siguiendo las líneas de la física de los cuantos debe ser considerada como una generalización independiente de la física clásica a la cual supera por la belleza de su concepción y por la armonía interna de su lógica.*

---

<sup>2</sup> Die Naturwissenschaften, Vol. 26, pág. 483.

*Debo también llamar reiteradamente la atención sobre las consecuencias de este nuevo conocimiento. Ha sacudido los fundamentos de nuestras ideas, no sólo en el reino de la ciencia clásica, sino también en nuestras formas cotidianas del pensamiento. A esta emancipación de las tradiciones heredadas del pensamiento debemos los maravillosos progresos realizados durante la pasada generación en lo que concierne al conocimiento de los fenómenos naturales. Tal progreso ha sobrepasado las más optimistas esperanzas que se abrigaban hace pocos años. Y la mejor definición que quizás pueda hacerse del estado actual de la ciencia física, es decir que casi todas las líneas directrices del pensamiento que han conducido a fructíferos resultados en la investigación experimental se han entremezclado en una armonía común, sin por ello perder su fecundidad individual. Por haber colocado en nuestras manos los medios de llegar a estos resultados, el descubridor de la teoría de los cuantos merece la inmensa gratitud de sus colegas"<sup>3</sup>.*

Añadiremos un nombre más a esta distinguida lista: el del profesor Heisenberg, el físico de Leipzig, fundador de la ahora popular teoría de la indeterminancia. Heisenberg se expresa así:

*"En el año 1900 Max Planck publicó el siguiente juicio: El calor radiante no es una corriente continua e indefinidamente divisible. Debe ser definido como una masa discontinua*

---

<sup>3</sup> Die Naturwissenschaften, Vol. 26, pág. 483.

*compuesta de unidades, cada una de las cuales es análoga a las restantes. En aquella época, difícilmente podía el autor haber previsto que en un lapso menor de treinta años su teoría, que contradecía claramente los principios de física hasta entonces conocidos, se desarrollase constituyendo una doctrina de la estructura atómica que por su fácil exposición y por su simplicidad matemática no es ni un ápice inferior al esquema clásico de la física teórica" 1).*

Volvamos ahora a la historia personal de Max Planck. Nació en Kiel, Alemania, el 23 de abril de 1858. Su padre era profesor de derecho constitucional en la Universidad, y más tarde fue trasladado a Göttingen con el mismo cargo. La obra principal, por la que su nombre llegó a conocerse, es el Código Civil Prusiano, del cual fue colaborador. Dícese muchas veces que el gran físico ha heredado ciertas cualidades de su padre, especialmente la capacidad jurídica para establecer pruebas experimentales, desentrañando lo que posee una significación de aquello que carece de ella, y descubriendo los valores absolutos ocultos tras los relativos. Planck tiene también una notable claridad para construir y presentar síntesis matemáticas. Pero quizá la cualidad más sobresaliente atribuible a sus primeras asociaciones familiares se muestra en su posición dentro de la ciencia física, a la cual considera como una rama de la cultura humana, de la que forma parte integrante con las otras ramas del saber. Su influencia sobre el destino de la

humanidad no sólo se limitaría a lo material, sino que también se ejercería más profundamente siguiendo un camino espiritual.

Cuando Max Planck tenía diecisiete años ingresó en la Universidad de Múnich, dedicándose principalmente a la física. Tres años más tarde marchó a Berlín para completar sus estudios en aquella Universidad. Por esa época, Helmholtz y Kirchhoff eran los conductores del movimiento científico en la capital prusiana. Kirchhoff era profesor de física en la Universidad, y el joven Planck recibía sus enseñanzas, concurriendo también a las lecciones de Helmholtz y Weierstrass. Planck siempre ha afirmado que debe a Kirchhoff su especial interés por la termodinámica, y particularmente por la famosa segunda ley<sup>4</sup>. Sobre este tema versaba la memoria que Max Planck escribió para su doctorado, que presentó en la Universidad de Múnich un año más tarde, en 1879, cuando recibió el título de Doctor Summa cum Laude. La memoria se titulaba: *De secunda lege fundamentale doctrinae mechanicae caloris*. Quizá yo debía explicar aquí que para el otorgamiento de grados todas las Universidades alemanas son consideradas como una. Un estudiante puede seguir parte de su carrera en una Universidad y parte en otra; de este modo, si el estudiante desea conocer especialmente alguna materia de la que exista un eminente profesor en una determinada Universidad lejos de la ciudad donde él habita, puede seguir aquí sus estudios y luego asistir a los cursos de los profesores famosos pasando de una Universidad a otra. La

---

<sup>4</sup> Loc. cit., pág. 490.

suma total se le acredita como si hubiera estudiado en una sola Universidad.

Ya doctorado, Max Planck adquirió el título de Privat Dozent en la Universidad de Múnich.

El **Privat Dozent** es un miembro universitario que recibe una retribución, unos derechos, pero no un sueldo. En 1885 Planck fue nombrado profesor de física en la Universidad de Kiel, y en 1889, llamado a Berlín como profesor extraordinario. En 1892 fue nombrado profesor ordinario en dicha Universidad, siendo el sucesor de Kirchhoff. En 1912 llegó a ser Secretario permanente de la Academia Prusiana de Ciencias. En 1919 recibe el premio Nobel de física, y en 1926, al ser nombrado Profesor Emeritus, Schrödinger le sucedió en la cátedra de física teórica de Berlín. En 1930 Adolf Harnack murió, y Max Planck fue elegido Presidente de la Sociedad Emperador Guillermo para el Progreso de la Ciencia, el puesto académico más elevado que existe en Alemania. ¿Qué es lo que puso a Planck sobre la huella de los cuantos? Sería una larga historia, pues su relato implicaría hacer una exposición de los diversos ensayos realizados hacia el fin del pasado siglo, para resolver el enigma espectroscópico de la radiación del calor. Como esta expresión no puede resultar muy clara para el lector tipo medio permítaseme hacer una breve explicación.

Todos saben que el espectro solar es el resultado de la descomposición de la luz blanca cuando ésta atraviesa un prisma, y así se produce un espectro de bandas coloreadas que se extiende sobre la pantalla en una gradación continua desde el rojo al violeta.

Newton fue el primero que se ocupó del fenómeno de una manera científica, fenómeno que le llevó al gran problema de la naturaleza de la luz. En el caso de la radiación del calor nos hallamos ante un caso semejante. Sir William Herschel mostró, por primera vez, que el espectro solar no se limita a la parte visible desde el rojo hasta el violeta. Dicho autor, en el año 1800, descubrió que también había rayos solares infrarrojos. Colocando un termómetro en los colores sucesivos descubrió que el calor estaba distribuido desigualmente en el espectro solar, y que era mayor en la zona por debajo del rojo. Esta desigualdad jamás había sido sospechada hasta entonces.

Ahora es un fenómeno de la experiencia diaria que un cuerpo moderadamente calentado desprenda una invisible radiación. La frecuencia de las ondas es demasiado baja para actuar sobre el ojo. Cuando la temperatura aumenta gradualmente, por ejemplo en un trozo de hierro, podría esperarse que los rayos violetas fuesen los primeramente perceptibles, ya que poseen el mínimo de longitud de onda necesaria para impresionar el sentido de la vista.

Pero no ocurre así. La luz es al principio rojo suave, luego rojo brillante y finalmente se hace blanca resplandeciente. La cuestión es saber cómo cambia la intensidad de los rayos de diferente frecuencia al ascender la temperatura: Esto es lo que se llama problema de la distribución espectral de la radiación para las diferentes temperaturas: y este es el problema al cual dedicó Max Planck los primeros veinte años de su carrera académica. En su conferencia ante la Real Academia Sueca de Ciencias, en Estocolmo, al recibir el premio Nobel, Planck se expresó así:

*"Cuando me remonto veinte años en mi vida, cuando la idea del cuanto físico de acción y su determinación surgió en forma definida de un conjunto de hechos experimentales, y cuando vuelvo la mirada hacia el largo y laberíntico camino que finalmente condujo al descubrimiento, recuerdo vivamente las palabras de Goethe: "Los hombres cometerán siempre errores cuando se esfuerzan en perseguir alguna cosa". Durante ese difícil y largo esfuerzo el investigador intenta repetidas veces abandonar el camino, por ser vano e infructuoso, hasta que una luz ilumina su senda y le proporciona la prueba irrefutable de que después de tantos fracasos en los diversos caminos recorridos da al fin un paso hacia el descubrimiento de la verdad que está buscando. La continua persecución de un objetivo es indispensable al investigador, y ese objetivo iluminará siempre su ruta, incluso aunque algunas veces puede ser oscurecida por los fracasos iniciales.*

*"El objetivo que durante largo tiempo he tenido ante mi mente fue la solución de la distribución de la energía en el espectro normal del calor radiante. Gustav Kirchhoff había demostrado que la naturaleza de la radiación calorífica es completamente independiente del carácter de los cuerpos radiantes. Esta demostración indicaba la existencia de una función universal que debe depender exclusivamente de la temperatura y de la longitud de onda, pero en modo alguno de las propiedades de las sustancias en cuestión. Si esta notable función pudiera ser descubierta sería posible profundizar en el conocimiento de las*

*relaciones entre la energía y la temperatura, que constituyen el principal problema de la termodinámica y, en consecuencia, de la física molecular considerada en su conjunto. En aquella época no había otro camino para descubrir esas funciones que seleccionar entre los diversos cuerpos naturales ciertos de ellos cuyas capacidades para emitir y absorber calor fueran conocidas, para luego calcular la radiación del calor cuando la temperatura quedase estacionaria. De acuerdo a la teoría de Kirchhoff, aquélla debía ser independiente de la naturaleza del cuerpo mismo.*

*He mostrado de una forma breve y objetiva el áspero camino que Planck siguió, sus caídas y extravíos por rutas equivocadas, su desaliento, pero siempre fiel a su persistente esfuerzo y a la determinación de triunfar. Finalmente fue alcanzada la meta, después de un largo viaje de veinte años.*

Planck presentó los resultados de su descubrimiento en una comunicación hecha a la Sociedad Alemana de Física, el 14 de diciembre de 1900. Su trabajo se titulaba "Sobre la distribución de energía en el espectro normal". El descubrimiento de la función antes mencionada fue conseguido expresado en una fórmula para medir la energía radiante. Hizo sus experiencias con lo que se conoce bajo el nombre de "radiación de cavidad". Planck calentaba hasta la incandescencia un cuerpo hueco, y dejaba salir un rayo de radiación a través de una pequeña abertura, rayo que analizaba en el espectroscopio. De este modo encontró que la energía radiante no

es una corriente continua. Es emitida en cantidades integrales, o cuantos, que pueden ser expresados con números integrales. En otras palabras, la medida siempre proporciona múltiples integrales de  $h\nu$ , donde  $\nu$  es la frecuencia y  $h$  una cantidad universal, ahora conocida con el nombre de constante de Planck. Su gran triunfo de habilidad técnica fue deducir el valor de dicha constante que es  $6.55 \times 10^{-27}$  ergio-segundo. Ninguna radiación puede ser emitida a no ser que se trate de esa cantidad o de un múltiplo integral de ella. Es decir, nuestra estufa no puede proporcionarnos calor hasta que haya acumulado al menos esa cantidad. Entonces no aumentará la radiación de su calor hasta que acumule otra cantidad integral, que es exactamente el doble de la primera; y así sucesivamente. Nosotros tendremos  $2h\nu$ ,  $3h\nu$  y  $4h\nu$ , pero jamás encontraremos una fracción de  $h\nu$ . Esto supone un concepto revolucionario para la radiación del calor, y ese concepto se extendió luego a todas las radiaciones y, finalmente, a la estructura interior del átomo mismo. Pronto pudo comprenderse que el descubrimiento que Planck había hecho no sólo servía para explicar el espectro del calor radiante, sino que también tenía una aplicación universal.

Así quedó demostrado a medida que la teoría se fue aplicando en diversas direcciones.

Pocos años después de haber sido expuesta, Einstein aplicó la teoría de los cuantos a la explicación de la constitución de la luz, y demostró que la luz sigue el mismo proceso que la radiación del calor, siendo emitida en paquetes o cuantos, denominados fotones. Físicos de todos los países comenzaron a practicar la misma técnica

de "cuantizar", obteniendo notables resultados. H. A. Lorentz, el famoso científico holandés, se expresaba así en el año 1925.

*"Hemos progresado tanto que esta constante (la constante universal  $h$  de Planck) no sólo proporciona la base para explicar la intensidad de la radiación y la longitud de onda, para la cual representa un máximo, sino que sirve para interpretar las relaciones existentes en otros varios casos entre las diversas cantidades físicas que ella determina. Haré mención únicamente de algunos, como son el calor específico de los sólidos, los efectos fotoquímicos de la luz, las órbitas y electrones en el átomo, la longitud de onda de las rayas del espectro, la frecuencia de los rayos Roentgen que son producidos por el impacto de electrones de velocidad determinada, la velocidad con que las moléculas de los gases pueden girar, en fin, las distancias entre las partículas de que está compuesto un cristal. No es exageración afirmar que en nuestra descripción actual de la naturaleza, la condición de los cuantos es la que mantiene reunida la materia e impide que pierda totalmente su energía a través de la radiación. Es absolutamente indudable que nos encontramos en presencia de relaciones reales, pues los valores de  $h$ , derivados de diferentes fenómenos, siempre son válidos, y esos valores apenas difieren de la cifra hallada por Planck hace veinticinco años, con los datos experimentales de que entonces podía disponer".<sup>5</sup>*

---

<sup>5</sup> Die Naturwissenschaften, Vol. 35, 1925, pág. 1008

No es este el lugar de ensayar una explicación de los aspectos científicos de la teoría de los cuantos. El lector podrá encontrar diversos trabajos de vulgarización -algunos de ellos quizá demasiado vulgares- de la revolucionaria teoría de Planck en algunos libros sobre la ciencia moderna. Mi tarea aquí es más bien indicar la fuente de la cual ha surgido este libro, e intentar explicar por qué Planck ha sentido la imperiosa necesidad de ocuparse de ciertos aspectos filosóficos de la ciencia contemporánea. La mayor parte de los ensayos aquí expuestos -las discusiones sobre el positivismo y sobre el determinismo y el libre albedrío- están fuera de la esfera de la física pura. ¿Por qué el decano de los físicos germanos se ha sentido obligado a tomar tan vigorosa posición?

Mucho se ha escrito acerca de las deducciones filosóficas de la teoría de los cuantos. Algunos de los físicos declaran categóricamente que el desarrollo de dicha teoría ha conducido al derrumbe del principio de la causalidad como axioma de la investigación científica. Sir James Jean puntualizó esta parte de la cuestión del siguiente modo:

*"Einstein demostró, en el año 1917, que la teoría fundada por Planck, al menos a un primer examen, parecía provocar consecuencias más revolucionarias que las de la simple discontinuidad. Parecía destronar la ley de la causalidad de la posición que hasta entonces había mantenido como guía para la evolución del mundo natural. La vieja ciencia había proclamado, llena de confianza, que la naturaleza sólo podía seguir un camino: el camino que había sido trazado, desde el comienzo de*

*los tiempos hasta su fin, por la cadena continua de la causa y el efecto; el estado A tenía que ser inevitablemente seguido por el estado B. Pero la nueva ciencia sólo ha sido capaz de decir que el estado A puede ser seguido por el estado B, C, D, o por otros innumerables estados. Ciertamente es que puede afirmar que B es más probable que C, C que D, etc., etc., y es capaz incluso de especificar las probabilidades relativas de los estados B, C y D. Pero, justamente debido a que tiene que hablar en términos de probabilidades, no puede predecir seguramente cuál será el estado que deberá aparecer. Esta es una decisión que está reservada a los dioses, cualesquiera que éstos sean"<sup>6</sup>.*

trabajos de vulgarización. Más adelante, Sir James Jean escribe:

*O para citar otra analogía: es algo como si las articulaciones y ensambladuras del universo actuasen en cierto modo flojas, como si el mecanismo hubiera adquirido cierto "juego", tal como sucede en los motores muy gastados. Sin embargo, esta analogía es engañosa si sugiere que el universo se halla deteriorado o es imperfecto. En una máquina vieja o muy usada el grado de "juego" o de "aflojamiento" varía de una pieza a otra, pero en el mundo natural se mide por la cantidad misteriosa conocida con el nombre de constante  $h$  de Planck que es absolutamente uniforme en todos los casos. Su valor; tanto en el laboratorio como en las estrellas, puede ser medido de innumerables formas, y siempre es el mismo. De todos modos, el*

---

<sup>6</sup> The Mysterious Universe, 1932, págs. 17 y 18.

*hecho de que el "aflojamiento de las articulaciones", cualquiera que sea su tipo, se observe en todo el universo, destruye la suposición de la causalidad absolutamente estricta, que es la característica de las maquinarias perfectamente ajustadas).<sup>7</sup>*

Las comillas son mías. La opinión de Sir James Jean es típica de una actitud muy común entre los físicos modernos. Pero es una actitud a la cual Planck se ha opuesto vigorosamente. Científicamente considerada es prematura, y lógicamente analizada es un salto excesivo hacia una conclusión demasiado amplia. Planck puede aducir, y así lo hace Einstein, que no es el principio de la causalidad como tal lo que se derrumba en la física moderna, sino más bien su fórmula tradicional. El principio de la causalidad es una cosa, pero la forma como ha sido formulado por Aristóteles y los escolásticos, por Newton y por Kant, es otra. Aplicada a los acontecimientos naturales, sea en la esfera de la psiquis, sea en la material, la fórmula tradicional debe ser considerada como tosca y prematura. En la discusión con que finaliza este libro, ese último punto es examinado en modo más riguroso. Lo que interesa principalmente en este lugar es preguntarse por qué Planck da tanta importancia a la controversia causal, hasta el punto de que en la actualidad gasta gran parte de su tiempo -y es verdaderamente un hombre atareado- en pronunciar conferencias y escribir ensayos acerca de este tema. La respuesta no puede hallarse en que sea un mantenedor de la autoridad de la tradición, ya que, como sabemos,

---

<sup>7</sup> Loc. cit., pág. 24.

ha encabezado la mayor revolución en la ciencia moderna. La respuesta, por tanto, debe ser buscada en otra dirección.

En la actualidad existe, entre el público, gran interés por la ciencia física. Surgió inmediatamente después de la guerra anterior y no muestra signos de declinar. Ello es debido a que, indudablemente, la ciencia física es la expresión más vital de las actividades supremas del pensamiento humano de nuestros días. Además, el contenido metafísico de las más altas especulaciones en la física teórica parece ser el sustento favorito moderno para el hambre del alma que antes se apaciguaba con los ideales del arte y de la religión. Desde algunos puntos de vista es posible que esto sea una ventura, pero desde otros puede ser una desventura, especialmente desde el punto de vista científico. Edwin Schrödinger ha publicado recientemente un brillante ensayo (*Ist die Naturwissenschaft Milieubedingt?* Barth, Leipzig, 1932) en el cual sugiere que la ciencia física ha sido una víctima del *Zeitgeist*. Actualmente, la *Umsturzbedürfnis* (la necesidad de algo radicalmente diferente del orden establecido) es una característica universal de nuestra civilización. La autoridad de la tradición es una rémora más que una recomendación en el caso de principios o métodos hasta ahora dominantes en el arte o en la música, o incluso en la política o en los negocios. Y también encontramos esa misma influencia despectiva sobre las ideas científicas. Cuando Einstein enunció su teoría de la relatividad, gran parte del entusiasmo con que fue acogida debíase a la impresión de que tal teoría derrumbaba completamente las doctrinas newtonianas mientras que, por el

contrario, la relatividad es una ampliación y refinamiento de la física de Newton. Cuando Heisenberg formuló su "Principio de la Indeterminación" fue casi, inmediatamente interpretado, incluso entre los mismos físicos, como una derrota definitiva del principio de la causalidad. Realmente no disponemos de medios para demostrar ni para desechar la existencia de la causalidad en el mundo exterior de la naturaleza, pero el fin que se proponía Heisenberg al formular el principio de la indeterminación era hallar una pauta que le permitiera trabajar con procesos minúsculos en los fenómenos naturales, como aquellos que se refieren al cuanto elemental de acción. En este caso el principio causal no es aplicable. Es decir, no podemos estimar simultáneamente la velocidad y la posición en el espacio-tiempo de una partícula, y afirmar dónde podrá hallarse un momento después. Pero esto no quiere decir que la seriación causal no tenga lugar en realidad objetivamente. Lo que significa es que no somos capaces de descubrir su actuación, pues, en el estado actual, los instrumentos de investigación y nuestros mecanismos mentales no son adecuados para esa tarea. El principio de la indeterminación es, en verdad, una hipótesis alternativa de trabajo que viene a substituir al método estrictamente causal en la física de los cuantos.

Pero Heisenberg mismo fue uno de los primeros que protestó contra la idea de interpretar su principio de la indeterminancia como equivalente a la negación del principio de la causalidad. ¿Por qué, pues, esta precipitada conclusión está tan en boga? Probablemente se debe a dos cosas. Primero, el Zeitgeist. El "espíritu del tiempo" no

quiere ser considerado como el heredero del viejo orden, y desea que se le vea libre de todas las leyes dictadas por la autoridad de la tradición. En segundo lugar, la estandarización de la vida moderna, con su producción en masa, sus grandes almacenes, sus poderosos medios de transporte, sus empresas de seguros, etc., ha dado lugar a un sistema de reglas estadísticas que es cierto cuando se refiere al conjunto de acontecimientos, aunque no sea aplicable a cada caso particular. Las gentes lo denominan principio de la estadística. Los físicos han transportado este principio a su ciencia, y muchas veces hablan de él como si estuviera en contraposición con la causalidad estricta en el sentido clásico. Así hablan de causalidad estadística como opuesta a la causalidad dinámica. Pero, en realidad, la causalidad estadística, e incluso lo que llamamos leyes de probabilidad, están basadas en la presuposición de la causalidad estricta en cada caso particular. De acuerdo al principio de causalidad estadística de las compañías de seguros, algunos millares de individuos mueren al año a consecuencia de determinadas enfermedades, a ciertas edades y con ciertas profesiones. Basándose en estas estadísticas se extienden las pólizas de seguro. Pero tales estadísticas nada tienen que ver con la verdadera causa de la muerte de cada asegurado, considerado individualmente.

Ahora bien, todo aquel que siente un profundo interés por su arte o por su ciencia, se esfuerza en protegerla contra la adulteración originada por la incorporación de principios y métodos que son ajenos a la disciplina de que se trate. He aquí la posición de Planck

con respecto a la ciencia física. Esto es fundamental en una época en que se han desechado las viejas tradiciones políticas y sociales, dado que esas viejas tradiciones no son ya apropiadas al nuevo orden económico, y, por tanto, social en que vivimos. Pero la investigación científica es algo que está aparte de las variables circunstancias de la existencia humana. Es natural que las gentes se dirijan a aquella rama de la cultura espiritual que es la más vital en nuestros días, la ciencia física, y busque en ella un 'point d'appui para la imagen' general del mundo. Pero este hecho por sí solo, aunque muy halagador para el científico como individuo, pone en peligro la integridad de la ciencia en cuestión.

He aquí de dónde surge ese interés de Planck por las controversias de la causalidad. Y es a esta luz a la que debemos examinar su tendencia hacia la tesis positivista. La excesiva popularización de la ciencia física ha movido probablemente a algunos físicos a construir prematuramente una estructura teórica que sirva a las gentes de objeto de veneración, pudiéramos decir de culto, tal como antaño servían los misterios de la religión. Así puede ser explicado ese afán de la moderna ciencia teórica que en ciertos aspectos recuerda la fase sofista en que degeneró la filosofía griega y que también caracterizó la decadencia del movimiento escolástico. Y fue la decadencia de este último la que instigó a la fundación de la escuela empirista inglesa, en la época de Locke, con el fin de reconstruir una base de pensamientos filosóficos que mereciera confianza. Actualmente tenemos un movimiento semejante en la ciencia física, con un propósito similar. Hay algunos filósofos que quieren reducir

el objeto de la ciencia física a una simple descripción de los hechos científicamente descubiertos, tal como ocurren en la naturaleza, pretendiendo excluir completamente la construcción de teorías e hipótesis. Planck se da cuenta de que esta restricción es anticientífica y significa un perjuicio para la física. He aquí por qué se opone tenazmente a ella. El decano de la física internacional, consciente de sus derechos, rompe lanzas contra el movimiento renunciador. Estoy convencido de que a este respecto es el portavoz del pensamiento científico germano. No hace mucho tiempo asistía a una comida celebrada en Göttingen, donde se reunieron algunos colegas de Planck. Allí se encontraban Hermann Weyl, Max Born y James Franck. El nombre de Planck fue mencionado muchas veces, y aunque se entabló una viva discusión acerca de su intransigencia respecto al principio de la causalidad, todos estuvieron conformes en alabar su posición frente a la doctrina positiva.

Una vez terminado este breve bosquejo que tiene por fin presentar ante la mente del lector la personalidad del autor de la teoría de los cuantos, añadiré, como conclusión, algunas referencias acerca de la posición personal de Planck entre sus colegas. Se trata, indudablemente, de la figura más popular en el mundo académico de Alemania, y puede afirmarse, sin temor a exagerar, que es la más querida. El profesor Sommerfeld, de Múnich, cuyo nombre es también famoso en el reino de la física de los cuantos, se expresaba así hace algún tiempo:

*"Su diploma de doctor, en 1879, llevaba el sobrescrito Summa Cum Laude. Podemos colocar esa misma inscripción sobre la*

*obra que ha realizado durante los cincuenta años que han transcurrido desde entonces, y no sólo para su obra científica, sino también para su ejemplo humano. Jamás ha escrito una palabra que no sea sincera, y en las polémicas siempre ha sido caballeroso con su adversario. Cuando se reorganizó la Sociedad Física Germana hubo disensiones y antagonismos, pero como Planck merecía la confianza de ambos bandos, pudo actuar de árbitro".*

Sommerfeld cuenta un sucedido que nos ilustra acerca de la modesta y desinteresada manera con que siempre ha estado dispuesto a colaborar con sus colegas. Sommerfeld estaba realizando investigaciones acerca de lo que en física atómica se conoce con el término fase-espacio. Escribió a Planck para que le ayudase, y éste puso inmediatamente a su disposición los resultados de sus propios experimentos en este campo. Sommerfeld, sintiéndose con vena poética, envió a Planck un pareado en el cual le decía que se había limitado a realizar un modesto esfuerzo para recoger unas escasas flores en el gran nuevo campo de la física de los cuantos que Planck había transformado desde el estado de erial al de terreno cultivado

*Der sorgsam urbar macht das neue Land*

*Die weil ich hier und da ein Blumensträuschen fand.*

A este grato cumplimento, Planck replicó con una cuarteta todavía más amable:

*Was Du gepflueckt, was ich gepflueckt  
Das wollen wir verbinde  
Und weil sich eins zum andern schickt  
Den schoensten Kranz draus winden.*

*(Lo que tú recoges, lo que yo recojo queremos unir, y nos lo  
enviamos el uno al otro para tejer así la más hermosa  
guirnalda).*

En la modesta y reducida memoria que Planck presentó ante la Real Academia Sueca, en ocasión de recibir el premio Nobel, menciona una tragedia que ha afligido su vida familiar: la pérdida de sus dos hijas, que fallecieron poco después de casarse -una de ellas pudiera decirse que todavía con el traje de novia- y la de un hijo muy inteligente que murió en la guerra. Otro hijo fue herido, pero sobrevivió, y fue más tarde ministro en el gabinete de von Papen.

Cuando se conversa con Planck, aunque sea sobre temas científicos, se percibe muchas veces que la tragedia de sus hijos ha causado profunda impresión en su alma. Su recuerdo parece provocarle un ansia, un anhelo que podría compararse a un arrobamiento místico. En fin, aunque es un científico, un hombre práctico del mundo, un gentleman en sus modales y vestimenta, un deportista que hace poco tiempo, para celebrar sus setenta y dos años, ascendió a la Jungfrau, se asocia su figura, no sé por qué, con la de Beethoven, y se recuerda que al principio de su carrera hubo la duda de si

desarrollaría su genio hacia el lado musical o hacia el lado científico. Al fin desarrolló este último.

Pero no lo pudo hacer sin enriquecer también el otro, pues el cultivo de la ciencia teórica exige, como primer requisito, la imaginación constructiva del artista. Y es que a la constante busca de la armonía de la naturaleza responde el anhelo por la expresión musical. De cualquier modo, es un hecho significativo que los dos más grandes científicos alemanes, Einstein y Planck, sean también músicos.

Al visitarle en su hogar de la Wangenheimerstrasse, Berlín, y charlar con él en la espaciosa habitación que le sirve al mismo tiempo de sala de recibo y de estudio, he pensado muchas veces que su vida privada se ha sublimado por la tragedia de su país, y ésta, a su vez, se ha sublimado por la tragedia universal del mundo moderno. Y sobre tal tragedia, Planck suele meditar mucho más de lo que acostumbran los hombres sumidos en un trabajo. A la primera nube de depresión acostumbra a oponer su lema favorito: *Man muss optimist sein.*

Debemos ser optimistas. Planck dice que la inscripción que hay que estampar sobre la puerta del templo de la ciencia, y que indica la sola condición para poder penetrar, es ésta: *Debéis tener fe.* Recorriendo su obra y recordando todo lo que ha dicho y dice, se encuentra siempre el hilo de oro de una viva fe en los fines esenciales de la creación.

*JAMES MURPHY.*

## Capítulo I

### Cincuenta años de ciencia

#### **Contenido:**

§. *Cincuenta años de ciencia*

§. *La teoría electrónica*

§. *La teoría de la relatividad*

§. *La teoría de los cuantos*

#### **§. Cincuenta años de ciencia**

En este lugar haré un breve esbozo de la ciencia física en Alemania durante el período de mi actividad en ese campo. Para mayor claridad parece preferible prescindir del orden cronológico de los acontecimientos e intentar trazar las principales líneas a lo largo de las cuales se han desarrollado dos diferentes grupos específicos de ideas. Al mismo tiempo he de ocuparme también de la obra que en esa disciplina han llevado a cabo los hombres de ciencia de otros países. Y si hago mención de ciertos hombres, mientras prescindo de otros no menos eminentes, es debido tan sólo a que tales nombres son citados simplemente como jalones para indicar un período particular o un punto decisivo, sin que por ello se intente señalar una valoración personal de la obra hecha por el científico aludido. Tomaremos como punto de partida el año 1880. En esa época cuatro grandes nombres resplandecían por encima de los restantes iluminando la dirección del camino por el cual avanzaban las investigaciones físicas. Tales nombres son: Hermann van

Helmholtz, Gustav Kirchhoff, Rudolf Clausius y Ludwig Boltzmann. Los dos primeros eran las principales lumbreras en los campos contiguos de la mecánica y de la electrodinámica, mientras los dos últimos constituían figuras eminentes en las esferas asociadas de la termodinámica y de la física atómica. Pero, en realidad, no había una línea divisoria entre esos cuatro precursores. Representaban un concepto del universo físico común a todos ellos, con respecto al cual sus posiciones se hallaban en la más completa armonía. Ese concepto común reposaba sobre un doble fundamento. Una parte de tal fundamento estaba constituida por el principio de la mínima acción de Hamilton, que incluye el principio de la conservación de la energía. La segunda parte estaba representada por la segunda ley de la termodinámica.

En aquella época todos los físicos consideraban como prácticamente cierto que cualquier subsiguiente desarrollo en la física teórica tenía que ser necesariamente en el sentido de llevar esos dos principios universales a sus finales conclusiones y a lograr su aplicación.

Nadie soñaba entonces con que dentro de un breve período de tiempo, los dos principios que tan orgullosamente se erguían, sirviendo de sostén a la estructura de la ciencia física, tuvieran que asociarse con otros principios en un pie de igualdad. El advenimiento de esos nuevos principios se vislumbraba ya en algunas de las ideas emitidas por los viejos precursores antes mencionados, así como en las opiniones de aquellos que entonces representaban la nueva generación. Heinrich Hertz fue el más sobresaliente entre estos últimos. Apareció en el momento en que la

nueva era se abría, y nunca serán bastante alabados sus servicios a la causa de la física moderna.

Por desgracia, su obra fue, truncada por una muerte prematura, a la edad de treinta y cuatro años, cuando desempeñaba activamente el cargo de profesor de Física teórica en la Universidad de Bonn. A pesar de que su descubrimiento de la propagación de las ondas electromagnéticas a través del vacío marca una época, Hertz no fue el fundador de una nueva doctrina científica. Lo que él hizo fue perfeccionar y completar una teoría de la luz de Maxwell, desplazando todas las restantes teorías que durante largo tiempo se habían disputado el puesto en el campo de la electrodinámica. Estos estudios obligan a reconocer que Hertz dio un importante paso hacia la unificación de la física teórica, pues llevó a la óptica y a la electrodinámica bajo una y la misma disciplina doctrinaria.

Su última obra fue la simplificación, hasta un grado ideal, de la mecánica newtoniana. En la mecánica newtoniana se ha trazado siempre una distinción entre energías cinética y potencial, que han sido consideradas como entidades diferentes. Hertz consiguió unificar este concepto bipartito gracias a la eliminación fundamental de la idea de una fuerza. La fuerza newtoniana fue identificada por Hertz con el movimiento interno en la materia, de modo que lo que hasta entonces había sido llamado energía potencial fue reemplazado por el concepto cinético. Hertz, sin embargo, jamás intentó explicar la naturaleza de esos movimientos internos en una dirección particular, por ejemplo, como gravitación.

Se contentó con establecer, en principio, la hipótesis de la unificación.

Si pasamos por alto ciertas teorías que aún se encuentran en lo que podría llamarse período rudimentario de desarrollo, sería posible decir que, a finales del último siglo, la ciencia de la física teórica presentaba en su totalidad el imponente aspecto de una estructura completa y perfectamente articulada. Un observador perspicaz; sin embargo, no podría desconocer que en algunas partes de este edificio había grietas que no podían contemplarse con igual satisfacción. Hertz no pudo menos que verlas y llamar la atención sobre el hecho de que la integración de la estructura tropezaría, al menos, con dificultades, si es que no era imposible. Estas grietas pronto vinieron a ser el objeto del ataque por parte de la crítica científica y este espíritu crítico dio lugar a un movimiento creador, que finalmente produjo la más importante expansión que la física teórica ha experimentado desde los tiempos de Newton.

Ningún sistema de doctrinas en la ciencia física, ni quizá en ciencia alguna, se pliega espontáneamente a modificar su contenido; siempre ha sido necesario la presión de circunstancias exteriores. En realidad, lo más inteligible y comprensivo de un sistema teórico es lo que más resistencia opone a todos los ensayos para una ampliación o reconstrucción. Ello es debido a que en una síntesis del pensamiento donde exista una coherencia lógica de todas sus partes, la alteración de una de ellas lleva aparejado el derrumbamiento de las restantes. Por ejemplo, la principal dificultad para la aceptación de la teoría de la relatividad no fue

simplemente la cuestión de sus discutibles excelencias objetivas, sino más bien el hecho de que podría destruir la estructura newtoniana de la dinámica teórica. La verdad es que no se puede introducir una modificación en una síntesis bien elaborada del pensamiento, a no ser que intervenga desde el exterior una fuerte presión. Esta fuerte presión debe proceder de un cuerpo de teorías perfectamente construido y firmemente consolidado merced a los estudios experimentales.

Tan sólo así podremos atacar y vencer los dogmas teóricos hasta entonces universalmente aceptados como correctos, y sólo así seremos capaces de conseguir una fundamental revisión del conjunto estructural de las doctrinas. Invariablemente surgen a continuación una serie de nuevos problemas que la investigación experimental tiene que encarar. Y después de resolverlos germinan nuevas ideas que han de conducir al planteamiento de otras teorías o hipótesis.

Este juego alternativo de teorías y experimentos, de construcciones teóricas por parte de la razón abstracta, y de su comprobación mediante sus aplicaciones a la realidad objetiva, es una característica especial de la física moderna. Ese juego alternativo, repetimos, tiene enorme significación para todo el progreso científico, pues es una garantía de que así serán obtenidos resultados perdurables dignos de confianza.

Había dos problemas de física teórica que, pudiéramos decir, absorbieron casi completamente la atención de Hertz hacia el fin de su vida, pero resistieron a todas las tentativas para hallar su

solución. Y estos problemas han constituido, finalmente, el núcleo alrededor del cual se ha desarrollado la física de nuestros días.

Tales problemas son:

1. La naturaleza de los rayos catódicos;
2. El movimiento electrodinámico.

Cada uno de ellos tiene su propia historia, pues cada uno fue el punto de partida de un desarrollo independiente. El primero condujo a la teoría de los electrones; el segundo, a la teoría de la relatividad.

### ***§. La teoría electrónica***

Los rayos catódicos fueron descubiertos por von Plücker en el año 1859. Este descubrimiento planteó el problema referente a la naturaleza de los rayos mismos. ¿Son los portadores de cargas eléctricas, o son movimientos ondulatorios, igual que los rayos de luz?

El hecho de que los rayos X no puedan ser desviados por la acción de un imán parecía indicar su carácter eléctrico. Pero Hertz se decidió en favor de la opinión contraria. Llegó a esta conclusión después de numerosos experimentos consistentes en hacer actuar los rayos catódicos sobre una aguja magnética y observar que en todos los casos la aguja permanecía en su posición de equilibrio. En consecuencia Hertz se inclinó a identificar los rayos catódicos con las ondas de luz-éter, que los hombres de ciencia intentaban vanamente descubrir desde hacía largo tiempo. Si Hertz tenía razón,

su teoría significaba que uno de los principales vacíos de la estructura de la física teórica podría ser llenado.

Pero, en contra de la sugestión de Hertz, otros datos conducían a la afirmación de que los rayos catódicos son corpusculares y portadores de cargas eléctricas. Al progresar los métodos experimentales, los hombres de ciencia comenzaron a creer con mayor firmeza que los rayos catódicos podrían ser, en definitiva, los portadores de la electricidad negativa.

En fin, los resultados obtenidos permitieron seguir esa dirección desde que W. Wien descubrió la carga eléctrica en los rayos, y D. Wiechert, su velocidad. De este modo quedó fundada la teoría electrónica.

Es interesante observar que en este caso la teoría y el experimento han actuado una al lado del otro; un día asumía la dirección la primera, al siguiente el segundo. El experimento que abrió el camino está representado especialmente por el de Phillip Lenard. En el año 1892, dicho autor demostró que los rayos catódicos pueden atravesar delgadas hojas metálicas, y consiguió obtenerlos fuera del tubo que los había engendrado. El impulso dado por este experimento produjo un maravilloso e inesperado resultado cuando W. Roentgen, en el año 1895, trabajando con los rayos catódicos, descubrió los rayos X y abrió la ruta hacia un nuevo reino para la ciencia física. Simultáneamente, su descubrimiento planteó una tarea completamente nueva a la física teórica de aquellos días. Esta labor condujo indirectamente al descubrimiento de los rayos del uranio, realizado por el físico francés Henri Becquerel.

El ulterior desarrollo en el mismo campo experimental finalizó con el descubrimiento de las sustancias radioactivas y con el establecimiento de la teoría de la radioactividad, gracias a los trabajos de Rutherford y Soddy.

Las investigaciones experimentales acerca de la naturaleza de los diversos fenómenos relacionados con los rayos catódicos, los rayos X y la radioactividad progresaron en todas partes. El problema especial que tenía que ser resuelto era el de su origen y la naturaleza de su actividad. Pero los rayos Roentgen escaparon por largo tiempo a todos los ensayos de análisis cuantitativos. En los primeros períodos de la experimentación quedó pronto establecido que los rayos X eran de naturaleza electromagnética, pues si se coloca en el interior del tubo una placa metálica opuesta al cátodo - el llamado anticátodo- son lanzadas desde ella corrientes de electrones. No obstante, durante largo tiempo fue imposible llegar a resultados satisfactorios en la medición de la longitud de onda de los rayos X. fue entonces cuando la obra de un teórico, el profesor von Laue, abrió el camino para el siguiente paso decisivo.

En el año 1912, von Laue, en colaboración con los físicos experimentadores W. Friedrich y P. Kipping, consiguió determinar la longitud de onda de los rayos X al hacerles atravesar medios cristalinos, provocando así el fenómeno de la interferencia. De esta forma fue posible medir la longitud de onda, pero el experimento quedaba reservado, como es natural, para los rayos Roentgen homogéneos, pues en otro caso, al superponerse las diferentes posiciones de la interferencia, surgía la confusión.

El descubrimiento de von Laue pronto adquirió importancia, tanto en la esfera de la física atómica como en la esfera de la óptica. Capacitó a los físicos para clasificar los rayos Roentgen y los rayos Gamma, así como las sustancias radioactivas, en electrodinámica. Por otra parte, los portadores de los rayos catódicos -esto es, los electrones libres- con su masa relativamente pequeña, mostraron ser algo completamente nuevo para la ciencia física. La introducción de estos electrones hizo posible comprender diversos fenómenos físicos que hasta entonces habían permanecido en la región del misterio.

Fue ya en el año 1881 cuando Helmholtz puntualizó, en su famosa "*Faraday Lecture*" que desde el punto de vista de la atómica química las leyes deducidas empíricamente de la descomposición química por la acción galvánica sólo podían ser explicadas atribuyendo una estructura atómica a la electricidad, como la que posee la materia. El átomo de electricidad postulado por Helmholtz aparece por primera vez en los rayos catódicos, libre y desprendido de toda materia, y luego fue localizado en los rayos Beta de las sustancias radioactivas. En contraposición a los átomos químicos, todos los átomos eléctricos son uniformes y sólo difieren entre sí por su velocidad. El descubrimiento de los electrones y su introducción en la descripción científica del Universo arroja nueva luz sobre la naturaleza de la conducción metálica. Es bien sabido que una corriente eléctrica, cuando pasa a través de un metal conductor, por ejemplo un trozo de alambre de cobre, no origina cambios químicos. Una vez que fue conocida la existencia de electrones parecía natural

considerar estos electrones libres como los portadores de la corriente eléctrica a través del metal. Esta opinión, previamente emitida por W. Weber, fue reavivada y desarrollada por E. Riecke y P. Drude.

Una vez que los electrones libres fueron admitidos por la ciencia física como verdaderos factores naturales, se hizo una tentativa para demostrar que estos electrones también existen "ligados". Este ensayo puso a los investigadores sobre la pista de toda una nueva serie de propiedades físicas y químicas de la materia. P. Drude explicó la dispersión óptica y la valencia química de una substancia refiriéndola a los electrones de los átomos, y con este objeto estableció una diferencia entre electrones firme y laxamente ligados. Los primeros causan la dispersión de la luz, los últimos dan cuenta de la propiedad de la valencia química. Posteriormente, H. A. Lorentz formuló la teoría electrónica como una síntesis completa e independiente. Su especial objeto fue averiguar hasta qué punto todas las constantes materiales de una substancia pueden ser explicadas por la disposición e interacción de los átomos y electrones contenidos en ella.

Reuniendo los resultados así obtenidos con la obra realizada en la esfera de la radioactividad, la consecuencia final de las investigaciones dirigidas hacia el descubrimiento de la constitución interna, en estos últimos cincuenta años, ha sido el conocimiento de que toda la materia está constituida por dos elementos primordiales: electricidad negativa y electricidad positiva. Ambas consisten en partículas uniformes, diminutas, que contienen cargas

uniformes pero opuestas. La partícula positiva, que es la más pesada, se denomina el protón, y la negativa, la más liviana, se llama el electrón. La unión de ambas es el neutrón. Todo átomo químico eléctricamente neutro está compuesto de cierto número de protones mantenidos casi en contacto, y por un número igual de electrones de los cuales algunos están ligados a los protones y forman junto con ellos el núcleo del átomo, mientras los otros -esto es, los electrones libres- se mueven siguiendo órbitas alrededor del núcleo. El número de estos últimos, llamados electrones libres u orbitarios, originan en cada caso lo que se denomina número atómico. De este número dependen todas las propiedades químicas de los diversos elementos.

### ***§. La teoría de la relatividad***

He hablado largamente de Heinrich Hertz y de su obra al ocuparme del movimiento que finalmente condujo al establecimiento de la teoría electrónica. Ahora llegamos a la segunda gran teoría que, según he dicho, forma, con la teoría electrónica, uno de los principios básicos en los que ni siquiera se soñaba hace cincuenta años, y que se cuenta ahora entre los principales pilares que sostienen la estructura científica. Este segundo principio es la teoría de la relatividad y Hertz se encuentra también entre los precursores de tal teoría, pues el último y más fructífero período de su vida fue dedicado ampliamente al estudio de los fenómenos electrodinámicos en los cuerpos en movimiento. Para esta labor Hertz eligió como punto de partida el principio de que todo movimiento es relativo.

Aceptando, como base, la teoría de Maxwell, formuló para los fenómenos del movimiento electrodinámico un sistema de ecuaciones en el cual la velocidad de los cuerpos es tomada tan sólo en un sentido relativo. Así queda expresado por el hecho de que las ecuaciones -como las leyes newtonianas de movimiento- permanezcan invariables si la velocidad del cuerpo en cuestión es considerada en relación con un sistema de referencia en movimiento, o, en otras palabras, por un observador en movimiento. En la teoría hertziana ya no hay necesidad de introducir la idea de un medio substancial especial de transmisión para las ondas electrodinámicas. Y si aceptamos el éter como medio substancial de transmisión, tendremos que admitir que no posee movimiento independiente de la materia, sino que es transportado hacia delante con ella.

La teoría hertziana era excelente en su coherencia interna, pero, desde el principio, su autor reconoció que tenía considerables inconvenientes. Una onda de luz que pasa a través del aire, que también se halla en movimiento, debe ser considerada conjuntamente con el movimiento del aire, lo mismo que en el caso de la onda sonora, sin importar para nada el grado del enrarecimiento en que el aire pueda encontrarse. Esta era una necesidad de la teoría hertziana, pero se hallaba en contradicción con un decisivo descubrimiento hecho por Fizeau, quien demostró que la luz pasa a través del aire en movimiento con la misma velocidad que presenta al atravesar el aire en reposo. En otras

palabras, lo mismo que reine perfecta calma o que la luz vaya a favor o en contra del viento, la velocidad es igual.

H. Lorentz se esforzó por borrar esta contradicción entre la teoría hertziana y el descubrimiento de Fizeau, emitiendo la idea de un éter estacionario que llena todo el espacio, y sugiriendo que aquél es el portador y transmisor de toda acción electrodinámica.

En este éter los átomos y electrones se mueven como partículas diferentes. Así, las ventajas de la teoría de Hertz eran conservadas y, al mismo tiempo, la teoría podía ser armonizada con el hallazgo de Fizeau. Por otra parte, sin embargo, esto suponía renunciar a la idea de la relatividad, pues se establecía un objeto de referencia en reposo absoluto. Era el éter estático, y la hipótesis de su existencia parecía más satisfactoria que cualquiera otra hasta entonces emitida.

En consecuencia, el principio de la relatividad daba un paso atrás. Pero pronto surgieron objeciones al aparecer dificultades que no podían ser subsanadas con la teoría de Hertz.

Todos los intentos para medir la velocidad absoluta de la Tierra fracasaron. En otras palabras, resultaba imposible medir la velocidad de la Tierra en relación con el hipotético éter estático. Ni siquiera el más delicado de los experimentos, el llevado a cabo por Michelson y Morley, pudo poner de manifiesto el menor indicio de la influencia del movimiento de la Tierra sobre la velocidad de la luz, a pesar de que, según la doctrina de Lorentz, no podría menos de observarse.

En estas circunstancias, la física teórica de fines del siglo pasado se veía ante el dilema de renunciar a la teoría de Lorentz, que ofrecía tantas ventajas, o a la teoría de la relatividad.

La crisis se hizo notoria en la reunión celebrada en Düsseldorf, el mes de agosto de 1898, por la Sociedad Alemana de Naturalistas y Médicos. En esta ocasión la cuestión fue discutida en un debate centrado alrededor de dos trabajos que allí fueron leídos, uno por W. Wien y otro por H. A. Lorentz. La controversia permaneció abierta durante siete años.

Entonces, en el año 1905, fue propuesta una solución por Albert Einstein, con su teoría de la relatividad. La doctrina de Einstein dejaba en pie la teoría de Lorentz, pero tan sólo a costa de admitir lo que a primera vista parecía ser una hipótesis completamente discordante, es decir, que las dimensiones de tiempo y espacio no pueden ser tomadas independientemente una de otra, sino que deben ser consideradas conjuntamente cuando se trata de la velocidad de la luz in vacuo. Esta hipótesis era inexpugnable desde el punto de vista lógico, pues venía expresada en una fórmula matemática intachable en sí misma. De todos modos, la hipótesis de la relatividad se hallaba en completa oposición con todas las opiniones hasta entonces aceptadas.

Pocos años después de que Einstein hiciera pública su hipótesis de la relatividad, Minkowski consiguió aducir una prueba que corroboraba la sugestión de aquel autor.

Minkowski demostró que si nosotros consideramos el tiempo como algo imaginario, y admitimos que la unidad de tiempo es la cantidad

de tiempo que emplea un rayo de luz para atravesar la unidad de longitud, todas nuestras ecuaciones electrodinámicas en relación al espacio y tiempo son simétricas; dado que la dimensión concerniente al tiempo y las tres dimensiones referentes al espacio entran como factores, en un pie de igualdad, en las fórmulas de cualquier ley de electrodinámica.

Así, el "espacio" tridimensional se amplía en un "mundo" tetradimensional, y las leyes matemáticas que gobiernan todo el campo de la electrodinámica permanecen invariables cuando el sistema de referencia, esto es, el observador, cambia su velocidad, lo mismo que permanecen invariables cuando el sistema de referencia cambia su movimiento desde una dirección a otra.

La cuestión que entonces surge es ésta: Si la hipótesis de la relatividad, en su nuevo modo de ser formulada, tiene significación y validez para la ciencia física en su conjunto, debe ser aplicable no sólo a la electrodinámica, sino también a la mecánica. Y si la teoría de la relatividad es aplicable al campo de la mecánica será necesario modificar las leyes del movimiento formuladas por Newton: en efecto, las leyes newtonianas no permanecen constantes cuando cambia el sistema tetradimensional que sirve de referencia. Aparte de estos problemas surgió lo que se denomina mecánica relativista, ampliación y refinamiento de la mecánica newtoniana. La teoría mecánica relativista fue comprobada por la experimentación con electrones de movimiento rápido, pues tales experimentos mostraron que la masa no es independiente de la velocidad -en otras palabras, se observó que la masa de un cuerpo dotado de

movimiento rápido crece con el aumento de la velocidad. Así se obtuvo una nueva corroboración de la hipótesis de Einstein.

Aparte de esta fusión del espacio-tiempo dentro de las leyes mecánicas del movimiento, la teoría de la relatividad realizó otra y no menos importante identificación: la de la masa con la energía. La unificación de estos dos conceptos estableció para todas las ecuaciones de la ciencia física el mismo tipo de simetría que la cuarta coordenada del continuo espacio-tiempo, el momento vector correspondiendo al lugar vector y la escala de la energía a la escala del tiempo. Otra importante consecuencia de la teoría de la relatividad es que la energía de un cuerpo en reposo da un valor completamente positivo, que se expresa por la multiplicación de sus masas por el cuadrado de la velocidad de la luz; en consecuencia, la masa en general debe ser considerada bajo el concepto de la energía.

Pero Einstein no se contentó con este triunfo de su teoría. Una vez demostrado que todos los sistemas de referencia, o puntos de vista de la observación, son igualmente válidos, en tanto que se intercambian unos con otros a través de una transformación rectangular lineal, Einstein se planteó la pregunta de hasta qué punto podría considerarse exacta una equivalencia para un sistema de referencia completamente arbitrario. La transformación de simples ecuaciones mecánicas en otro sistema de referencia implica generalmente ciertos factores adicionales, como el de una fuerza centrífuga cuando se trata de un sistema de referencia en rotación - el caso de la Tierra-, y estos factores adicionales aparecen como el

efecto de la gravedad en cuanto la masa ponderable se identifica con la masa inercial. Ahora bien, la hipótesis de que, desde el punto de vista de la ciencia física, el sistema de referencia no geométrico ofrece desde el principio ventajas sobre cualquier otro sistema, y el hecho de que la propiedad de la invariabilidad sólo puede ser explicada sobre la base del tensor fundamental de Riemann —que por su parte depende de la distribución de la materia en el espacio— condujeron a formular la teoría general de la relatividad. Esta teoría general de la relatividad incluye la primera teoría como un caso especial, y tiene la misma relación con la teoría especial de la relatividad que la que existe entre la geometría de Riemann y la geometría de Euclides.

La significación práctica de la teoría general de la relatividad está naturalmente limitada a los campos gravitacionales muy poderosos, como el del sol, donde el calor y la luz son afectados, o a los movimientos que tienen períodos seculares, como el del desplazamiento del perihelio de la órbita de Mercurio. La teoría general de la relatividad representa el primer gran paso hacia la meta ideal de geometrizar la física en su conjunto. Einstein se ha dedicado recientemente a la tarea de abrir el camino para dar el segundo paso, que podría unir la mecánica y la electrodinámica en un solo sistema de ecuaciones. Para este fin ha emprendido el trabajo de formular una única teoría del campo basada sobre una geometría diferente de la de Riemann. Esperamos, de todos modos, el triunfo final de este intento.

### **§. La teoría de los cuantos**

Aparte de la teoría de la relatividad, y con completa independencia de ella, la teoría de los cuantos ha dado, durante los últimos treinta años, una nueva faz a la física teórica. Lo mismo que en el caso de la teoría de la relatividad, su origen y fundamento débense al hecho de que hay que abandonar la antigua teoría clásica en vista de que fracasa al explicar los resultados que han sido establecidos experimentalmente. Estos resultados, sin embargo, no han sido obtenidos en la esfera de la óptica, sino más bien en la de la termodinámica, y han surgido al medir la energía radiante en el espectro de emisión de cuerpos oscuros.

De acuerdo con la ley de Kirchhoff esta energía radiante es independiente de la naturaleza de la substancia radiante, y; por tanto, tiene una significación universal. En esta dirección, la teoría clásica había ya conducido a importantes resultados. En primer lugar, L. Boltzmann dedujo de los descubrimientos de Maxwell, referentes a la presión ejercida por la radiación, y de las leyes de la termodinámica, la dependencia en que se hallan todos los tipos de radiación de la temperatura. W. Wien amplió el mismo principio, y demostró que la curva de la distribución de la energía en el espectro, especialmente en su situación e intensidad máxima, se desplaza por los cambios de temperatura. Esta deducción estaba en completa armonía con las más delicadas mediciones, pero por lo que se refiere a la forma de la curva existía una notable discrepancia entre las conclusiones a que se llegaba por la teoría y

las mediciones realizadas por von Lummer y Pringsheim, Rubens y Kurlbaum.

Entonces, Max Planck, tomando las leyes de la termodinámica como una base sobre la cual pudiera ser obtenida una explicación de los resultados experimentales, llegó a la revolucionaria hipótesis de que los diversos aspectos que una imagen oscilante y radiante posee son entidades en sí mismas, y que la diferencia entre dos cualesquiera de los aspectos de la imagen se caracteriza por una constante universal definida, el cuanto elemental de acción.

El establecimiento de esta hipótesis implicaba un rompimiento fundamental con la opinión hasta entonces mantenida en la ciencia física, pues hasta ese momento se consideraba como dogma que el estado de una imagen física podía ser indefinidamente alterado. Pronto quedó demostrado que la nueva hipótesis era fructífera al observar que conducía a una ley que explicaba la distribución de la energía en el espectro, y que estaba en perfecta armonía con las mediciones practicadas. Pero, además, proporcionaba un medio para determinar los pesos absolutos de moléculas y átomos. Hasta entonces, y aunque estas determinaciones habían sido realizadas, la ciencia había tenido que contentarse con valores más o menos groseros. Einstein demostró de inmediato que la nueva teoría tenía una ulterior consecuencia en cuanto era aplicable a la energía y calor específico de los cuerpos materiales. Hasta entonces había sido tan sólo una mera suposición que el calor específico disminuye ilimitadamente al descender la temperatura, pero luego esa

suposición quedó demostrada por pruebas experimentales. Max Born y Th. von Karmann, por una parte, y P.

Debye, por otra, comenzaron a estudiar cuidadosamente, desde el punto de vista de la teoría de los cuantos, el problema de la dependencia del calor específico de la temperatura, y consiguieron formular una ley que permite calcular la variación del calor específico según la temperatura, partiendo de las constantes elásticas de la substancia en cuestión. De todos modos, la prueba más patente de la universalidad del cuanto de acción se funda en la circunstancia de que no sólo la teoría del calor emitida por W. Nernst, en el año 1906, con independencia de la teoría de los cuantos, está en armonía con ésta, sino también que la constante química introducida por Nernst depende del cuanto de acción. Esto fue claramente demostrado por O. Sackur y H. Tetrode.

La solidez de la teoría de los cuantos es actualmente tan grande e indiscutible que si la determinación de una constante química no coincide con el cálculo teórico, la discrepancia es atribuida, no a la teoría de los cuantos como tal, sino a la forma en que ha sido aplicada, y especialmente a la aceptación de ciertas condiciones atómicas referentes a la substancia en cuestión. Pero las leyes de termodinámica, por ser de una naturaleza sumaria y estadística, únicamente pueden dar lugar a resultados sumarios cuando se aplican a los procesos electrónicos en el átomo.

Ahora bien, si el cuanto de acción tiene la significación que se le ha atribuido actualmente en termodinámica, se debe hacer sentir también en cada uno de los procesos dentro del átomo, en todos los

casos de emisión y absorción de radiación y en la libre dispersión de la radiación luminosa y también fue Einstein quien formuló la hipótesis de que los cuantos de luz tienen una existencia independiente y ejercen una actividad independiente.

Esta hipótesis condujo a plantear una larga serie de nuevos problemas, que sirvieron de punto de partida a nuevas investigaciones en los campos de la física y de la química. Estas investigaciones se han ocupado de la emisión de los cuantos de luz, por una parte, y de los electrones, átomos y moléculas, por otra. La primera medición directa del cuanto de acción fue obtenida por J. Franck y G. Hertz liberando cantidades de luz mediante impulsos electrónicos. Niels Bohr consiguió más tarde aclarar la teoría, y extender su aplicación más allá de la esfera electrodinámica. Sobre la base del cuanto fue capaz de establecer las leyes que rigen las minúsculas actividades que tienen lugar en el mundo interior del átomo. Mediante la construcción de un modelo de átomo demostró matemáticamente que si los electrones del átomo se mantienen girando a enormes velocidades, el cambio de energía implicado en el desplazamiento de un electrón desde una órbita a otra corresponde exactamente a la teoría de los cuantos, según la cual la variación del estado físico no tiene lugar gradualmente, sino en forma de saltos. Esta fue la primera vez que la teoría de los cuantos encontró una aplicación fuera de la esfera de la termodinámica.

El camino de los cuantos para resolver problemas físicos fue extendido más tarde por A. Sommerfeld, quien de este modo consiguió solucionar el enigma de las delicadas estructuras

espectrales que hasta entonces no había podido ser aclarado. Independientemente de los fenómenos espectrales, el modelo de átomo de Bohr mostró su utilidad para la dilucidación de las leyes químicas, incluso de aquellas que rigen las funciones de elementos que periódicamente se presentan en las estructuras químicas.

El mismo Profesor Bohr jamás ha afirmado que este modelo de átomo proporcione la solución definitiva del problema de los cuantos, pero el principio que dicho autor introdujo en la ciencia ha demostrado ser fructífero, pues, en combinación con la teoría clásica, señaló la dirección para el subsiguiente desarrollo de la teoría de los cuantos.

Cierto número de dudas persistió algún tiempo, pues debido al carácter discontinuo del átomo de Bohr, las llamadas órbitas electrónicas estacionarias no estaban de acuerdo en sus peculiaridades con las leyes de la mecánica clásica. El Prof. Heisenberg descubrió un camino para obviar esta dificultad formulando una detallada descripción del movimiento electrónico en un sentido completamente diferente de las teorías clásicas.

Dicho autor demostró que únicamente las dimensiones que en principio son directamente mensurables deben ser tratadas teóricamente; y así consiguió formular ciertas ecuaciones mediante las cuales ha sido resuelto el problema de aplicar la teoría de los cuantos con una validez universal. La íntima relación entre este particular método de cálculo y el de la computación matriz fue puesta de relieve con la colaboración de Max Born y P. Jordan, y un

nuevo y significativo paso en esa dirección fue dado por W. Pauli y P. Dirac.

Es notable que caminos indirectos, que algunas veces parecen incluso marchar en direcciones opuestas, conducen a la misma meta y abren otros campos que han extendido la base de la teoría de los cuantos. Una nueva ampliación fue conseguida con el establecimiento de la teoría de las ondas. La teoría original de Heisenberg reconocía únicamente magnitudes integrales en las cantidades medidas. Esto es, sus resultados comprobaron la condición de discontinuidad postulada por la teoría de los cuantos. Pero L. Broglie, independientemente de Heisenberg, desarrolló otra interpretación que servía de complemento a la anterior. Los cuantos de luz de Einstein son de doble naturaleza.

Considerados desde el punto de vista de la energía, actúan como partículas distintas y divisibles — esto es, son cuantos concentrados o fotones; pero si los examinamos desde el punto de vista electromagnético, todos los experimentos demuestran que son comparables a una onda esférica o vibración que se extiende en todas direcciones, y que corresponde exactamente a la teoría ondulatoria de la luz de Maxwell. Este es uno de los grandes dilemas de la física moderna, y la hipótesis de la mecánica de las ondas es un ensayo para resolverlo. Schrödinger fue el primero que presentó una fórmula analítica exacta de la mecánica de las ondas en las ecuaciones diferenciadas parciales, expuestas por dicho autor. Por una parte, y en cuanto se refiere a los valores integrales de la energía, tales estudios condujeron directamente a las reglas

que Heisenberg ha establecido. Mientras que por otra parte extendieron los fundamentos de aplicación de la teoría de los cuantos a los procesos de desintegración, e incluso a problemas más embrollados y confusos. En el presente estado de su desarrollo podemos decir, sin temor a ser discutidos, que la teoría de la mecánica de las ondas ha quedado definitivamente establecida por sí misma como una generalización y ampliación de la mecánica corpuscular clásica. La diferencia entre la mecánica clásica y la ondulatoria descansa principalmente en el hecho de que las leyes del movimiento, por lo que respecta a una imagen física, no pueden ser formuladas como lo habían sido en la mecánica clásica, es decir, la imagen no puede ser fragmentada en fracciones infinitesimalmente pequeñas, siendo el movimiento de cada fracción independiente del de los restantes. Por el contrario, según la mecánica ondulatoria, la imagen debe ser mantenida ante los ojos como un todo, y sus movimientos como surgiendo de los movimientos integrales individuales y recíprocamente diferenciados. De aquí se deduce que no es la fuerza local —como en la mecánica newtoniana— sino la fuerza integral, es decir, la potencial, la que es miembro de la ecuación fundamental. Por otra parte se deduce también que carece de sentido hablar del estado de una partícula en cuanto se refiere a su posición y velocidad. A lo sumo este estado es más bien un cierto espacio fundamental para el desarrollo de la ordenación dimensional del cuanto de acción.

Por tanto, en principio, cualquier método de mediciones se comporta como inseguro con respecto a la suma total correspondiente.

No hay ni que decir que las leyes de la naturaleza son en, sí mismas independientes de las propiedades de los instrumentos que sirven para su medición. Sin embargo, en toda observación de los fenómenos naturales no debemos olvidar que la exactitud del aparato de medición desempeña siempre importante papel. Por esta razón algunos investigadores dedicados a la física de los cuantos prefieren prescindir del principio de la causalidad en la determinación de los fenómenos naturales, y adoptar, en su lugar, el método estadístico.

Pero yo creo que, con igual justicia, podría ser sugerida una modificación de la fórmula del principio causal que nos legó la física clásica, para que así pueda readquirir su validez. Pero la cuestión acerca de los méritos rivales de los métodos estrictamente causales y estadísticos depende de hasta qué punto son más fructíferos en resultados unos u otros.

## Capítulo II

### ¿Es real el mundo externo?

Vivimos en un momento singular de la historia. Es un momento de crisis, en el sentido literal de la palabra. En todas las ramas de nuestra civilización espiritual y material vemos que se ha llegado a un punto crítico. Este momento álgido no sólo se refiere al estado actual de los problemas públicos, sino también a la posición general que se adopta con respecto a los valores fundamentales en la vida individual y social.

Algunos dicen que estos síntomas marcan la iniciación de un gran renacimiento, pero hay otros que ven en ellos el reflejo de una decadencia a la cual está destinada nuestra civilización. Antaño tan sólo la religión, especialmente en sus sistemas doctrinal y moral, fue objeto del ataque de los escépticos. Luego los iconoclastas comenzaron a destrozar los ideales y principios que hasta entonces se habían aceptado en el terreno del arte; ahora han invadido el templo de la ciencia. Apenas podría encontrarse un axioma científico que en la actualidad no haya sido negado por alguien. En fin, casi podría decirse que cualquier teoría absurda que sea formulada en el mundo de la ciencia llegará a encontrar en un lugar u otro, partidarios y discípulos.

En medio de esta confusión es natural preguntarse si la verdad conserva aún alguna trinchera de cuya inexpugnabilidad estemos seguros, y en la cual podamos resistir firmemente la ola de escepticismo que se ha desencadenado. La ciencia, en general, se

presenta ante nosotros con el aspecto de una maravillosa estructura teórica, que es uno de los frutos más espléndidos del razonamiento constructivo. La coherencia lógica de la estructura científica era hasta ahora objeto de inagotable admiración por parte de aquellos que criticaban los fundamentos del arte y de la religión.

Pero esta cualidad lógica no nos salva ahora de los ataques de los escépticos. La lógica en su forma más pura, las matemáticas, sólo coordina y articula una verdad con otra. Da armonía a la superestructura de la ciencia, pero no puede proporcionar los cimientos o las piedras fundamentales.

¿Dónde encontraremos, pues, firmes cimientos sobre los cuales podamos basar científicamente nuestras ideas acerca de la naturaleza y del mundo en general?

Inmediatamente viene a nuestra mente la más exacta de las ciencias naturales, la física.

Pero incluso la ciencia física no ha escapado al contagio de este momento crítico de la historia, y la confianza que para sí reclama dicha ciencia no sólo es discutida desde fuera de sus ámbitos; también dentro de sus confines ha comenzado a actuar el espíritu de la confusión y de la contradicción. Este espíritu se hace notar especialmente con respecto a cuestiones tan fundamentales como es la de saber hasta qué punto y a través de qué camino la mente humana es capaz de llegar al conocimiento de la realidad externa. Citemos un ejemplo. Hasta ahora el principio de la causalidad era universalmente aceptado como un postulado indispensable de la investigación científica, pero ahora algunos físicos nos dicen que

debe ser lanzado por la borda. El hecho de que tan extraordinaria opinión pueda ser expresada en círculos científicos responsables es ya bien significativo de que por todas partes cunde la desconfianza en el conocimiento humano. Es una situación muy grave, y por esa razón siento, como físico, que debo exponer mi propio concepto acerca de la posición en que se encuentra ahora la ciencia física. Quizá lo que yo pueda decir arroje alguna luz sobre otros campos de la actividad humana que la nube de escepticismo también ha ensombrecido.

Examinemos los hechos fundamentales. El comienzo de cualquier acto de conocimiento, y, por tanto, el punto de partida de toda ciencia, debe ser nuestras experiencias personales.

Aquí empleo la palabra experiencia en su connotación técnico-filosófica, o sea, nuestra percepción sensorial directa de las cosas exteriores. Estos son los datos inmediatos del acto del conocimiento, y forman el primero y el más eficaz asidero de la cadena del pensamiento científico. El material que proporciona, las piedras fundamentales de la ciencia, es recibido directamente a través de nuestra propia percepción de las cosas externas, o indirectamente a través de la información de los demás, o sea, de los primeros investigadores, maestros, publicaciones, etc. No existen otras fuentes para el conocimiento científico. En la ciencia física se trabaja especial y exclusivamente con ese material, que es el resultado de la observación de los fenómenos naturales mediante nuestros sentidos, con la ayuda de instrumentos como el telescopio, etc., etc. Las reacciones así registradas al observar la naturaleza

exterior son comparadas y esquematizadas basándose en observaciones y cálculos repetidos. Este material de nuestras construcciones científicas, por ser reacciones inmediatas de lo que vemos, oímos, sentimos y tocamos, constituye datos inmediatos y en realidad indiscutibles.

Si la ciencia física desempeñase su función mediante la simple concatenación de estos datos y refiriéndose a ellos, nadie podría poner en duda la veracidad de sus fundamentos.

Pero el problema es éste: ¿estos fundamentos satisfacen totalmente las necesidades de la ciencia física? Si nosotros dijésemos que el único y exclusivo objeto de la ciencia física es describir, del modo más exacto y sencillo, el orden observado al estudiar los diversos fenómenos naturales ¿quedaría cumplida satisfactoriamente la tarea de la ciencia física?

Cierta escuela de filósofos y físicos mantiene que este es el único objeto de dicha ciencia.

Algunos físicos eminentes han sido inducidos a aceptar este punto de vista, dada la confusión general y la inseguridad que surge del espíritu escéptico de la época. Se dan cuenta de que, sea como sea, aquí existe un baluarte inexpugnable. La escuela que defiende este concepto se denomina generalmente escuela positivista, y en todo cuanto vamos a decir emplearemos dicho término. Desde los tiempos de Augusto Comte, el fundador del positivismo, se ha dado diversas significaciones al vocablo. En consecuencia quiero declarar, desde un principio, que restrinjo su aplicación al estrecho

significado a que he hecho alusión antes, y que responde al que se admite de ordinario cuando se emplea la palabra positivismo.

Preguntémonos ahora ¿las bases que el positivismo ofrece son suficientemente amplias para sentar sobre ellas la total estructura de la ciencia física? El mejor criterio que puede ser aplicado para encontrar una respuesta a esta cuestión es preguntarse a dónde podría conducirnos el positivismo si aceptásemos que constituye la única base fundamental de la ciencia física.

Supongamos, por un momento, que somos positivistas, y tomémonos la molestia de dominarnos para poder mantenemos estrictamente dentro de esa línea hasta sus lógicas consecuencias, sin permitimos lugares comunes o consideraciones sentimentales que nos hagan abandonar la seriación lógica del pensamiento positivista. Podremos estar seguros de que procediendo así no nos enfrentaremos con contradicciones lógicas que surjan directamente de nuestro campo de observación, ya que, como es natural, dos hechos realmente observados en la naturaleza no pueden hallarse en una contradicción lógica. Por otra parte, en tanto que nos mantengamos en la línea positivista debemos ocuparnos tan sólo de los diversos tipos de experiencias, y desconocer cualquier otra fuente de conocimiento humano. Aquí radica la fortaleza de la escuela positivista. En tanto que la ciencia física se adhiera a la norma positivista tendrá como problemas aquellos que puedan ser resueltos mediante la observación inmediata. Todo problema que tenga una importancia bien definida deberá ser tratado, dentro de los ámbitos de la ciencia física, con arreglo a la norma positivista. Si

nos contentamos con la observación directa de los fenómenos naturales y con su descripción, no tendremos que resolver enigmas fundamentales ni nos hallaremos ante cuestiones oscuras. Todas las cosas aparecerán claras como la luz del día. En este sentido todos los problemas se presentan con notable sencillez. Pero el asunto se complica cuando pretendemos aplicar ese principio a los casos individuales. Nuestros comunes hábitos de hablar dificultan ya la observación de la estricta norma positivista. En la vida ordinaria, cuando hablamos de un objeto exterior —de una mesa, por ejemplo— significamos algo diferente de la mesa que la ciencia física realmente observa. Podemos ver la mesa, tocarla, probar su solidez inclinándonos sobre ella, o su dureza golpeándola con los nudillos. A la luz de la ciencia positivista la mesa no es otra cosa que un complejo de esas percepciones sensoriales, y en consecuencia, tenemos simplemente el hábito de asociar éstas con la palabra mesa. Eliminemos estas percepciones sensoriales, y no quedaría nada. Dentro de la teoría positivista debemos desconocer todas aquellas cosas que se hallen más allá de las que son registradas por los sentidos, y, por tanto, somos inatacables en este reino claramente definido. Para el positivista no tiene la menor importancia preguntarse qué es en realidad una mesa, y otro tanto podría repetirse con los restantes conceptos físicos. Todo el mundo que nos rodea no es otra cosa que un análogo de las experiencias que hemos recibido. Hablar de este mundo como de algo que existe independientemente de tales experiencias es hacer un juicio que carece de significación. Si un problema que se refiere al mundo

exterior no admite ser referido inmediatamente a algún tipo de experiencia sensorial y no es posible someterlo a la observación, no tiene significación alguna y debe ser rechazado. Por tanto, dentro del campo del sistema positivista no hay lugar para ninguna clase de metafísica. Si dirigimos nuestras miradas hacia las estrellas desparramadas en el cielo veremos innumerables puntos luminosos que se mueven de una manera más o menos regular en el firmamento. Podemos medir la intensidad y el color de sus rayos. Según la teoría positivista estas determinaciones no son tan sólo la materia prima de la astronomía y de la astrofísica, sino que constituyen el único y exclusivo tema de estas ciencias. Si partiendo de ellas se realizan algunas deducciones, no pueden ser consideradas como legítima ciencia. Este es el concepto positivista. Las construcciones mentales que es posible hacer comparando, relacionando y sistematizando los supradichos datos, y las teorías que pueden emitirse para explicar por qué son así y no de otro modo, constituyen una intromisión injustificada del hombre en la escena. Son simples invenciones arbitrarias de la razón humana. Pueden ser útiles, lo mismo que el hábito de establecer símiles y comparaciones es un ejercicio para la mente, pero no tenemos derecho a ir más allá, y considerar que representan algo de lo que realmente sucede en la naturaleza.

Todo lo que sabemos es el simple resultado de determinaciones sensoriales, pero no estamos autorizados a darle una ulterior significación.

Supongamos, con Ptolomeo, que la Tierra es el centro fijo del Universo, y que el Sol y todas las estrellas se mueven a su alrededor, o supongamos, con Copérnico, que la Tierra es una pequeña partícula de materia, relativamente insignificante en comparación con el conjunto del Universo, que gira sobre su eje en veinticuatro horas, y que se traslada alrededor del Sol en el plazo de doce meses. Basados sobre el principio positivista, considerada desde el punto de vista científico la primera teoría es tan buena como la segunda. Son simplemente dos formas diferentes de realizar una construcción mental, más allá de las reacciones sensoriales, de algunos fenómenos extraños, pero no tienen mayor significación científica que las construcciones mentales que pueden hacer fuera de sus impresiones sensoriales, el músico o el poeta, cuando se enfrentan con la naturaleza. Cierto es que la teoría astronómica de Copérnico es la más aceptada, pero ello es debido a que se trata de una manera más sencilla de formular una síntesis de las observaciones sensoriales, y no da lugar a tantas dificultades acerca de las leyes astronómicas como las que surgen de la aceptación de la teoría de Ptolomeo. En consecuencia Copérnico no debe ser considerado como un verdadero descubridor en los reinos de la ciencia, de igual modo que tampoco puede serlo un poeta cuando proporciona fantasía y expresión a los sentimientos que son familiares a todos los corazones humanos. Copérnico no descubrió nada; tan sólo formuló, en una fantástica construcción mental, un conjunto de hechos que eran ya conocidos, es decir, no añadió nada al conjunto de conocimientos científicos que ya se tenían. Esa teoría

originó una tremenda revolución mental, y en torno de ella se empeñó una violenta batalla. Y tenía que ser así pues su consecuencia lógica era dar una explicación completamente diferente del lugar del hombre en el universo de la que de ordinario se mantenía en aquella época por la religión y la filosofía de Europa. Pero para el científico positivista, todas esas luchas en torno a la teoría de Copérnico carecen completamente de sentido desde el punto de vista científico, sin tener más trascendencia que la que pueda tener el arrobamiento de quien al contemplar la Vía Láctea reflexiona sobre el hecho de que cada una de sus estrellas es un Sol igual al nuestro y cada nebulosa es otra Vía Láctea desde la cual la luz tarda varios millones de años en alcanzar nuestra Tierra, mientras que ésta a su vez, con sus habitantes humanos, queda limitada a una insignificante mancha apenas apreciable en el espacio sin límites.

Incidentalmente debemos recordar que examinar la naturaleza en esta forma es examinarla desde los puntos de vista estético y ético. Éstos, como es natural, no tienen relación directa con la ciencia física, y, por tanto, son excluidos. Pero al excluirlos existe una fundamental diferencia entre la actitud del físico no-positivista y la del positivista. El científico que no cree en la posición positivista admite la validez de los puntos de vista estético y ético, pero los considera como pertenecientes a otra forma de examinar la naturaleza. Esta forma no cae dentro del campo de la ciencia física. El positivista, a su vez, no admite como reales esos valores, incluso cuando se trate de campos diferentes al de la ciencia física. Para él

una bella puesta de sol es simplemente una seriación de impresiones sensoriales. Por tanto, según queda expresado al principio, en tanto que nos ajustemos lógicamente a la doctrina positivista, debemos excluir de nuestra mente toda influencia de carácter sentimental, estético o ético. Tenemos que atenemos a la senda lógica. Esta es la indispensable garantía de certeza que la doctrina positivista ofrece.

Y ahora puedo recordar al lector una vez más que estamos examinando un sistema que ha sido planteado con el propósito, realmente laudable, de proporcionar una base segura a la veracidad de la ciencia. Por tanto, la posición de la doctrina en su conjunto debe ser discutida de un modo puramente objetivo y libre de cualquier sentimiento polémico.

En la forma positivista de examinar la naturaleza, las impresiones sensoriales son los datos primarios, y, en consecuencia, significan realidad inmediata. Se deduce de ello que, en principio, será un error hablar de que los sentidos han sido engañados. Lo que en ciertas circunstancias pueden ser engañosas no son las impresiones sensoriales mismas, sino las conclusiones que muchas veces se obtienen de ellas. Cuando introducimos oblicuamente un bastón en el agua y observamos la aparente curvatura en el punto de inmersión, el resultado de la vista no nos engaña cuando nos muestra que el bastón se curva. Existe realmente una curvatura como percepción óptica, pero esto no significa, en modo alguno, que el bastón mismo esté curvado. El positivista no nos permite deducir otras conclusiones. Tenemos una impresión sensorial de la parte del

bastón que está en el agua, y otra contigua de la parte que se halla en el aire, pero no tenemos derecho a afirmar nada respecto al bastón mismo. Lo más que el principio positivista puede permitirnos es decir que el bastón aparezca "como si" estuviera curvado. Si explicamos el fenómeno diciendo que los rayos de luz que se reflejan en el aire desde el bastón a los ojos pasan a través de un medio menos denso que el que atraviesan los rayos que proceden de la parte del bastón sumergida en el agua, y que, por tanto, los últimos se desvían más fuertemente, la forma de enjuiciar el caso es útil desde algunos puntos de vista, pero no se acerca más a la realidad que cuando se dice que los sentidos perciben el bastón "como si" estuviera curvado.

Lo esencial aquí es que, desde el punto de vista del positivismo, ambas formas de enjuiciar el caso tienen fundamentalmente igual validez, y carecería de sentido intentar juzgar cuál de las dos tiene mayor valor acudiendo al sentido del tacto para rectificar la aparente anomalía de un bastón que era recto en el aire y se curva en el agua. En el sistema positivista poca significación tiene decidirse en un sentido o en otro, pues una ciencia positivista estrictamente lógica tiene que contentarse simplemente con recibir las impresiones sensoriales.

Podemos decir que el bastón se ve "como si" estuviera curvado. En la práctica, como se comprende, no se ha hecho ningún ensayo serio de aplicar en términos generales esta teoría del "como si", que hubiera conducido a consecuencias ridículas. Pero ahora no estamos analizando la teoría positivista sobre la base de alguno de

esos fundamentos, sino que la estamos considerando desde el punto de vista de su consistencia lógica, que es el fundamento esencial por ella elegido. Y debe mantenerse o caer según las consecuencias que pueda tener para la ciencia física la aplicación lógica de las premisas positivistas.

Lo que he dicho respecto al bastón es igualmente aplicable a todos los objetos de la naturaleza inanimada. Dentro del concepto positivista un árbol no es otra cosa que un complejo de sensaciones. Vemos que crece, oímos el rumor de sus hojas, olemos el perfume de sus brotes. Pero si prescindimos de estas impresiones sensoriales nada nos queda que corresponda a lo que podría ser llamado "el árbol en sí mismo".

Lo que es válido para el mundo de la vida vegetal debe tener igual significación para el mundo animal. Hablamos de este mundo como de un reino especial e independiente de seres, pero esto es tan sólo debido a que es una forma convenida de pensar y de hablar. Si pisamos un gusano éste se retuerce. Tal es lo que podemos ver. Pero carecería de sentido preguntarse si el gusano sufre un dolor. Un hombre siente únicamente su propio dolor y le es imposible extender ese mismo sentimiento al mundo animal con la seguridad de que así sea. Decir que un animal sufre dolores es una afirmación basada sobre un conjunto de diversas características que corresponden a lo que sucede en nuestro propio caso en circunstancias similares. En el caso del gusano observamos que se retuerce y se contrae. En el caso de otro animal vemos que se producen contracciones en su cuerpo, análogas a las que se

originan en nosotros en iguales condiciones. En fin, en el mundo animal se producen ciertos sonidos comparables a los gritos que lanzamos al experimentar un dolor.

Cuando pasamos desde el mundo animal al de los seres humanos encontramos que los científicos positivistas establecen una clara distinción entre nuestras propias impresiones y las impresiones de los demás. Nuestras propias impresiones son la sola realidad, y son realidades únicamente para uno mismo. Las impresiones de las restantes personas sólo nos son conocidas indirectamente. Como objetos del conocimiento son algo fundamentalmente diferente de lo que significan nuestras propias impresiones. Por tanto, cuando hablamos de ellas seguimos el mismo tipo de analogía de que nos valemos al hablar del dolor de los animales. Pero, en el estricto concepto positivista, carecemos de un conocimiento absolutamente seguro de lo que son las impresiones de las restantes personas. Como no son una percepción sensorial directa no proporcionan una base segura para dar certidumbre a nuestro conocimiento.

Es indudable que el concepto positivista no puede ser acusado de inconsistencia lógica.

Cuando profundizamos en sus principios no llegamos a encontrar contradicción alguna. Este es el punto fuerte de todo el sistema. Pero cuando lo utilizamos como la exclusiva base sobre la cual pueden ser realizadas las investigaciones científicas, vemos que el resultado tiene una expresiva significación para la ciencia física. Si el alcance de la ciencia física queda limitado simplemente a la descripción de las experiencias sensoriales, nuestras propias

experiencias tendrán que constituir estrictamente el único objeto de la descripción, pues sólo ellas son datos primarios. Se comprende que sobre la base de un mero complejo individual de experiencias, el individuo más inteligente sería incapaz de constituir un sistema científico comprensivo. Así, nos enfrentaremos ante la alternativa de renunciar a la idea de una ciencia comprensiva, cosa difícilmente aceptable incluso por los positivistas más convencidos, o admitir una transacción y permitir que la experiencia de los demás contribuya a formar los fundamentos del conocimiento científico. Al hacerlo así se renunciará, estrictamente hablando, a nuestro primitivo punto de vista, es decir, el de que sólo los datos primarios constituyen una base indiscutible de la verdad científica. Las impresiones sensoriales de los demás son secundarias, y sólo constituyen datos para nosotros a través de los informes que tenemos de ellas. Esto pone en juego un nuevo factor: el de la veracidad de la información oral y escrita de los relatos científicos. En consecuencia rompemos, al menos, un eslabón de la cadena lógica que mantiene coherente al sistema positivista, ya que el principio fundamental de este sistema es que únicamente la percepción inmediata puede ser considerada como material veraz para la ciencia.

Permítasenos sin embargo, pasar por alto esta dificultad y admitir que todos los relatos hechos por los investigadores científicos son veraces, o, al menos, que están a nuestra disposición medios infalibles para excluir aquellos que no lo sean. En este caso es natural que los informes proporcionados por numerosos científicos

de otras épocas y del momento actual que son reconocidos como veraces y dignos de confianza deban ser tomados en consideración, no habiendo razón alguna para preferir unos a otros. En este sentido sería erróneo desvalorizar los hallazgos de un investigador por el solo hecho de que no hayan sido confirmados por otros.

Si nos aferramos a esta idea sería difícil explicar o justificar la conducta de la ciencia física respecto a ciertos investigadores. Citemos un ejemplo:

Los llamados rayos N, descubiertos por el físico francés llamado Blondlot, en el año 1903, y en aquella época, estudiados en todos los países, se desconocen totalmente en la actualidad. René Blondlot, profesor en la Universidad de Nancy, era considerado como un inteligente y veraz investigador. No podemos decir que fuese engañado por sus percepciones sensoriales; para un físico positivista no puede haber, según hemos visto, dicho engaño. Hay que considerar, pues, a los rayos N como datos reales primarios, algo que directamente fue percibido por un hombre. Y si desde los tiempos de Blondlot y su escuela nadie ha conseguido reproducidos, no existe razón para negar —al menos desde el punto de vista positivista— que algún día, bajo alguna especial circunstancia, se hagan nuevamente apreciables.

Siguiendo este criterio positivista tenemos que convenir en que el número de investigadores cuyos hallazgos son de valor para la ciencia física, es realmente muy reducido. Debemos admitir tan sólo a aquellos que se han dedicado especialmente a esta ciencia, pues los descubrimientos que han sido hechos en dicho campo por los

ajenos a tal disciplina son más o menos insignificantes. Hay que excluir, desde el principio, a todos los físicos teóricos, ya que sus experiencias se han limitado esencialmente al uso de la pluma, la tinta, el papel y el razonamiento abstracto. Sólo quedan los físicos experimentales, y en primer término aquellos que se han reducido al empleo de instrumentos extraordinariamente sensibles para alguna investigación especial. Por tanto, en la hipótesis positivista sólo un pequeño número de físicos especializados entran dentro de la categoría aludida de hombres cuyas contribuciones han hecho progresar la ciencia física.

Desde este punto de vista ¿cómo explicar la extraordinaria impresión causada y la revolución producida en el campo de la ciencia internacional por hallazgos como el de Oersted, quien descubrió la influencia de una corriente galvánica sobre la aguja imantada, el de Faraday, que observó el efecto de la inducción electromagnética, o el de Hertz, que pudo hallar pequeñas chispas eléctricas en el foco de su reflector parabólico por el empleo de la lente de aumento? ¿Cómo y por qué esas impresiones sensoriales individuales produjeron tal entusiasmo y condujeron a una verdadera revolución mundial en la teoría y aplicación de los métodos científicos? A estas preguntas los defensores del positivismo sólo pueden contestar dando un rodeo y de una forma que en modo alguno convence. Tienen que recurrir a la teoría de que estas experiencias individuales, por sí insignificantes, abrieron un camino que condujo a otros investigadores a realizar otros descubrimientos de mucho mayor alcance. Es una respuesta

defectuosa, pero muestra perfectamente la posición positivista, pues los defensores del positivismo no quieren admitir otra cosa que la simple descripción de los resultados experimentados en la investigación; y si ahora preguntamos por qué ciertos hallazgos de unos cuantos oscuros individuos obtenidos en condiciones muy primitivas han logrado tan inmediata y amplia significación para los restantes físicos, esa pregunta carece de sentido para la ciencia física considerada con el criterio positivista.

La razón para tomar esa sorprendente actitud es fácil de comprender. Aquellos que se inclinan hacia la doctrina que estoy exponiendo niegan la idea y la necesidad de una ciencia física objetiva, que es independiente de la percepción sensorial y de la experiencia del investigador. Se adhieren a esa proposición debido a que están obligados lógicamente a no reconocer otra realidad que la de la experiencia de los hechos que el físico posee. Yo creo que si la ciencia física tiene que aceptar esa posición, como base exclusiva de sus investigaciones, se encontrará obligada a colocar una enorme estructura sobre unos cimientos completamente inadecuados. ¿De qué valor son para el mundo las impresiones sensoriales de un simple individuo? Ese terreno es demasiado reducido para erigir tal construcción, y tiene que ser ampliado por la adición de otros. Ninguna ciencia puede descansar sobre la fragilidad de los hombres considerados individualmente. Y en el momento en que hemos establecido ese juicio damos un paso que nos aparta de la senda lógica del sistema positivista, y seguimos el camino llamado sentido común. Es decir, saltamos al reino de la metafísica, pues aceptamos

la hipótesis de que las percepciones sensoriales no crean por sí mismas el mundo físico que nos rodea, sino que más bien nos aportan noticias de otro mundo que se halla fuera de nosotros y que es completamente independiente de nosotros.

En consecuencia prescindimos del positivista *als-ob* (como si), y atribuimos un tipo más elevado de realidad que el de la simple descripción de las impresiones sensoriales inmediatas a los descubrimientos prácticos que han sido ya mencionados — los de Faraday, etc. Una vez dado este paso llevamos la meta de la ciencia física a un nivel más elevado. Ya no se limita a la mera descripción de los simples hechos del descubrimiento experimental, sino que incluso aspira a proporcionar un mayor conocimiento del mundo real externo.

En este momento surge una nueva dificultad epistemológica.<sup>8</sup> El principio básico de la teoría positivista es que no hay más fuente de conocimiento que la que proporciona la limitada percepción a través de los sentidos. Ahora existen dos teoremas que en conjunto forman el punto cardinal hacia el cual se dirige la total estructura de la ciencia física. Estos teoremas son:

1. Hay un mundo real externo que existe independientemente de nuestro acto de conocer;
2. El mundo real externo no es directamente cognoscible.

En cierto sentido estos dos juicios se contradicen y este hecho revela la presencia de un elemento irracional o místico que se

---

<sup>8</sup> La epistemología es la ciencia de la naturaleza del conocimiento metafísico, y como tal siempre se halla más allá de todas nuestras conquistas.

adhiera a la ciencia física como a cualquier otra rama del conocimiento humano. Las realidades cognoscibles de la naturaleza no pueden ser totalmente descubiertas por rama alguna de la ciencia. Esto significa que la ciencia nunca se halla en situación de explicar en forma concluyente y decisiva los problemas con que tiene que enfrentarse. En todos los modernos progresos científicos vemos que la solución de un problema hace aparecer el misterio de otro. Cada cima que escalamos nos descubre otra que se eleva tras ella. Debemos aceptar esto como un hecho absolutamente irrefutable, y nos es imposible eliminado intentando trabajar sobre una base que reduce el alcance de la ciencia a la simple descripción de las experiencias sensoriales.

El objeto de la ciencia es algo más; es un incesante esfuerzo hacia una meta que nunca podría ser alcanzada, pues, dada su naturaleza, es inasequible.

Pero si la ciencia física nunca podrá conseguir el completo conocimiento de su objeto ¿no queda reducida esta ciencia a una actividad sin sentido ni significación? En modo alguno, ya que este continuo esfuerzo pone en nuestras manos los frutos que ya están maduros, signo infalible de que nos hallamos en buen camino y de que cada vez estamos más cerca del término de nuestro viaje. Pero este término jamás será alcanzado, pues siempre habrá cosas que resplandecerán a la distancia y de las cuales no podremos apoderarnos. No es la posesión de la verdad, sino el triunfo que espera a quien la busca lo que hace feliz al investigador. Así lo han

reconocido profundos pensadores, incluso antes de que Lessing le diera forma con su famosa frase.

## Capítulo III

### La imagen del universo físico en la ciencia

#### **Contenido:**

§. *La imagen del universo físico en la ciencia*

§. *Causalidad y albedrío: estado actual del problema.*

#### **§. La imagen del universo físico en la ciencia**

La aspiración ideal del físico es comprender el mundo externo de la realidad. Pero los medios de que dispone para llegar a ese fin son los que se conocen en ciencia física con el nombre de mediciones, y éstas no proporcionan información directa acerca de la realidad externa. Son tan sólo una inscripción o representación de las reacciones a los fenómenos físicos. Como tales no contienen información explícita, y tienen que ser interpretadas.

Helmholtz ya dijo que las mediciones proporcionan al físico signos que él debe interpretar, lo mismo que el especialista en lenguas interpreta el texto de algún documento prehistórico que pertenezca a una cultura desconocida. Lo primero que el especialista en lenguas acepta —y tiene que aceptar si su obra ha de tener alguna significación práctica— es que el documento en cuestión ha sido redactado de acuerdo con algún sistema de reglas gramaticales o símbolos. De igual manera el físico debe aceptar que el universo físico está gobernado por algún sistema de leyes que puede ser comprendido, incluso aun cuando él no pueda abrigar la esperanza

de ser capaz de comprenderlo en forma simple, o de descubrir, con cierto grado de certidumbre, su carácter y la manera cómo actúa.

Admitiendo que el mundo exterior de la realidad es gobernado por un sistema de leyes, el físico elabora una síntesis de conceptos y teoremas; y esta síntesis es considerada como la imagen científica del universo físico.

Trátase de una representación del mundo real en tanto que corresponde, tan exactamente cómo es posible, a la información proporcionada por las mediciones realizadas. Una vez cumplido este requisito el investigador puede afirmar, sin temor a que le contradigan los hechos, que ha descubierto una faceta del mundo externo de la realidad, aunque, como es natural, no sea capaz de demostrar lógicamente la verdad de la aseveración.

Si consideramos los esfuerzos hechos por los físicos, desde los tiempos de Aristóteles, para descubrir el universo externo, creo que hay que expresar la más rendida admiración por el extraordinario grado de perfección que ha alcanzado a este respecto la inventiva del investigador científico. Desde ese punto de vista —como puede comprenderse— la idea de construir una imagen científica del universo físico —ese continuo esfuerzo hacia un conocimiento de la realidad externa— es algo extraño y sin significación alguna. Donde no haya objeto externo, no habrá nada que pueda ser representado o descrito.

La principal cualidad que debe tener la imagen del mundo obtenida por el físico es que entre el mundo real y el mundo de la experiencia sensorial exista el acuerdo más perfecto posible.

Lo que se obtiene a través de los sentidos es la materia prima con que el físico ha de trabajar, y el primer proceso a que tiene que ser sometido ese material en bruto es el de la eliminación y el refinamiento. Del complejo de datos sensoriales debe ser eliminado y descartado todo aquello que pueda haber surgido de las tendencias constructivas subjetivas de los órganos sensoriales por sí mismos. Y además hay que descartar todas las cosas que puedan ser atribuidas a la intervención accidental o a circunstancias especiales. Con respecto a esto último habría que prestar singular atención al hecho de que los instrumentos destinados a las mediciones pueden influir sobre el resultado a que se llega durante el proceso de observación. Esta influencia es más marcada cuando se trata de la observación de pequeños detalles. Supongamos que se han cumplido todas las condiciones mencionadas; entonces, la imagen física del universo externo tiene que llenar únicamente otro requisito. En su composición debe estar libre de todo aquello que constituya una incoherencia lógica. Por lo demás, el investigador tiene las manos completamente libres. Puede dar rienda suelta a su espíritu de iniciativa y permitir que sus facultades imaginativas intervengan sin obstáculo ni cortapisas. Esto significa, como se comprende, que dispone de un notable grado de libertad para hacer sus construcciones mentales, pero hay que recordar que esta libertad es tan para el provecho de un fin específico, y es una aplicación constructiva de la capacidad imaginativa. No se trata de un simple y arbitrario vuelo por los reinos de la fantasía. Un físico está obligado, dada la naturaleza de su labor, a emplear sus

facultades imaginativas en el primer paso que da. Para ese primer paso debe recoger los resultados proporcionados por una serie de mediciones experimentales, e intentar organizarlos, bajo una ley. Es decir, debe hacer una selección de acuerdo a un plan, que en primer término será hipotético, y, por tanto, una construcción imaginativa. Y cuando observa que los resultados hallados no se avienen a ese plan, hay que descartarlo y ensayar otro. Esto significa que la capacidad imaginativa debe siempre especular acerca de la significación de los datos que han sido proporcionados por las mediciones experimentales. El físico se halla en la misma situación que el matemático cuando se le propone que una, mediante una curva, una serie de puntos. Cuanto más juntos se hallen y cuanto más abundantes sean esos puntos, más numerosos serán los tipos de curvas imaginables. Prácticamente nos hallamos ante una tarea semejante; seguimos los movimientos de un instrumento registrador sensible, destinado a marcar tan sólo una curva independiente y bien definida, por ejemplo la curva térmica; en efecto, observamos que esa curva no está nunca rigurosamente definida, sino que existe una zona más o menos amplia en la cual podría dibujarse un infinito número de curvas claramente diferentes.

No se puede establecer una regla que indique cuál debe ser la decisión en medio de esta incertidumbre. El investigador debe elegir simplemente una línea mental definida. Y esa línea del pensamiento, basada en una combinación seleccionada de las ideas, nos lleva al hallazgo de una hipótesis a cuya luz podremos trazar la curva que buscamos, y trazarla de una forma perfectamente

definida que la distinga de las otras innumerables curvas que puedan ser propuestas.

En otras palabras, cuando el espectro muestra, por ejemplo, una imagen múltiple y se busca la causa de uno de los elementos de esa imagen, tenemos que imaginar cierto número de causas hipotéticas e ir las examinando hasta que se tropiece con una que esté de acuerdo con algunos de los resultados obtenidos. La línea del pensamiento que conduce a esas diversas alternativas tiene su origen fuera del ámbito de la lógica. Para formular estos tipos de hipótesis el físico tiene que poseer dos características: un conocimiento práctico de todo el problema en que trabaja, así como una imaginación constructiva. Esto significa, en primer término, que debe conocer los diversos tipos de mediciones, aparte de las que en ese momento está usando, y, en segundo lugar, poseer la habilidad de combinar en un solo punto de vista los resultados logrados con dos tipos diferentes.

Toda hipótesis fecunda en resultados tiene su origen en alguna afortunada circunstancia que ha permitido realizar la observación siguiendo dos caminos distintos. Esta verdad la vemos claramente ilustrada en los famosos casos históricos que han conducido a descubrimientos sensacionales que marcaron una época., Cuando Arquímedes observó la pérdida de peso experimentado por su propio cuerpo en el agua, relacionó este hecho con la pérdida de peso sufrida por otro cuerpo en las mismas condiciones, y así llegó a encontrar un medio para determinar el peso específico de los diferentes metales. Esta idea se formó en su cerebro un día que,

estando en el baño, meditaba acerca de la manera de resolver si la corona del Rey de Siracusa era de oro puro o si se trataba de una aleación con plata. Aplicando la experiencia de su propia pérdida de peso en el baño, pensó que el aumento de volumen de la aleación podría ser descubierto introduciendo separadamente en el agua la corona y pesos iguales de oro y de plata, determinando luego el volumen de agua que desalojaban. Newton, al ver el movimiento de una manzana que se desprendía de un árbol de su huerto, relacionó esa observación con el movimiento de la Luna con respecto a la Tierra. Einstein observó el estado de un cuerpo sometido a la gravitación en una caja en reposo, y lo consideró en relación con el estado de un cuerpo libre de la gravitación en una caja sometida a un proceso de aceleración ascendente.

Niels Bohr asoció la rotación orbitaria de los electrones en torno al núcleo de un átomo con el movimiento de los planetas alrededor del Sol. Todas estas combinaciones han sido extraordinariamente fructíferas. Sería un interesante ejercicio mental analizar las diferentes hipótesis que han abierto caminos fecundos, con la intención de descubrir cuáles fueron las asociaciones de ideas de las cuales surgieron. Pero esa tarea tropezaría con la dificultad de que las grandes mentalidades creadoras se resisten a mostrar ante la curiosidad de la gente esos delicados hilos del pensamiento que les han permitido tejer sus notables hipótesis, así como aquellos otros que tuvieron que abandonar.

La utilidad de una hipótesis únicamente puede ser atestiguada por los resultados lógicos que fluyen de su aplicación, Esa deducción

debe ser puramente lógica —primeramente matemática— y entonces la hipótesis constituye el punto de partida para desarrollar un sistema teórico tan completo como sea posible. Una vez que el sistema teórico ha llegado a su total desarrollo será confrontado con los resultados proporcionados por la experimentación. Según que el sistema corresponda o no a esos resultados podrá juzgarse si la hipótesis de que hemos partido fue o no bien elegida.

Siendo este el método adoptado por el físico, podemos comprender inmediatamente el hecho de que el progreso de la ciencia física no siga una curva regular en su desarrollo. La curva del progreso científico sigue más bien un trazado en zig-zag. Puede decirse que el movimiento de avance es de tipo explosivo, y el retroceso subsiguiente es una característica de él. Toda hipótesis que al ser aplicada lanza un rayo de luz sobre un nuevo campo de la ciencia física representa precipitarse en la oscuridad; pues al principio no podemos someter la nueva visión a un juicio lógico. Entonces tienen lugar los esfuerzos que finalmente han de dar a luz una nueva teoría. Una vez que esto ocurre la teoría marcha hacia adelante, bien o mal, hasta que el sello del destino queda grabado cuando se la somete a la prueba experimental. Si la hipótesis sobrevive a esta prueba, aumenta su prestigio, y al ir siendo aceptada se desarrolla y se extiende en una forma cada vez más comprensiva.

Mas si, por el contrario, las pruebas experimentales ponen obstáculos a la viabilidad de nuestra hipótesis, surgen recelos, dudas y críticas. Pero estos son los signos de que se van poniendo en duda las viejas afirmaciones, y así aparece una nueva hipótesis.

La tarea de esta última es conducir hacia la solución de la crisis de la cual ha nacido, y construir una nueva teoría que conservará lo que había de cierto en la anterior y corregirá y descartará lo que había de falso. Durante este período de cambios, el conocimiento que la ciencia física nos aporta marcha unas veces con pasos temblorosos y otras de manera firme hacia el descubrimiento del universo real externo.

Esta evolución periódica es la característica del desarrollo histórico de la ciencia física.

Recordemos el caso de la teoría del movimiento electrodinámico de Lorentz. Las luchas y contradicciones que tuvieron lugar en este caso por la aplicación de las pruebas experimentales son bien conocidas. Pero sólo aquellos que han seguido paso a paso la espinosa senda de la teoría lorentziana pueden apreciar exactamente el alivio que se produjo cuando la hipótesis de la relatividad quedó por primera vez establecida. Otro tanto se ha observado en la historia de la teoría de los cuantos, pero en este último caso la crisis no se ha desvanecido aún completamente.

Ya hemos dicho que al plantear cualquier hipótesis, el autor de ella tiene libertad desde su iniciación. Elige sin cortapisas de ninguna clase los conceptos y teoremas que empleará en la constitución de sus síntesis, con tal, claro es, que no haya contradicción lógica entre ellos. No es cierto, como muchas veces han dicho los físicos, que en la exposición de una hipótesis el autor deba extraer el material para su idea única y estrictamente de aquellos primeros datos que le han sido proporcionados por las mediciones

experimentales. Esto significaría que los conceptos formativos que moldean una hipótesis tienen que ser estrictamente independientes de todo origen teórico: no es así. Por una parte, toda hipótesis — como factor en la imagen del universo externo presentada por el físico— es un producto de la libre especulación de la mente humana; y, por otra parte, no hay fórmulas físicas que sean los resultados inmediatos de mediciones experimentales. Toda medición únicamente adquiere una significación para la ciencia física a través del significado que la teoría le da.

Cualquiera que esté familiarizado con las tareas de un laboratorio aceptará que incluso las mediciones más finas y más directas — como las del peso y de la corriente— tienen que ser corregidas una y otra vez antes de que puedan ser utilizadas para un objeto práctico. Es natural que estas correcciones no puedan ser sugeridas por el mismo proceso de la medición. Deben ser ante todo descubiertas a la luz que lanzan sobre el problema alguna o algunas teorías; es decir, tienen que surgir de una hipótesis.

Lo cierto es que el inventor de una hipótesis tiene una ilimitada libertad para elegir los medios que considera necesarios para su propósito. No estará obstaculizado por la tendencia fisiológica hacia la construcción, que es una característica de la actividad de sus propios órganos de los sentidos, ni encontrará restricciones en lo que se refiere a la guía que prestan los instrumentos físicos de trabajo. Con los ojos del espíritu penetrará en los más delicados procesos que se van desarrollando ante él. Seguirá los movimientos de cada electrón y vigilará la frecuencia y forma de

cada onda. Incluso inventará su propia geometría a medida que precise de ella. Y así, con esos instrumentos espirituales de trabajo, con esos instrumentos de ideal exactitud, tomará una parte personal en todos los procesos físicos que se desarrollan ante su presencia. Esto tiene por objeto eliminar las dificultades, aunque los experimentos —que son un factor en cualquier proceso de investigación— tengan que encontrar luego una amplia aplicación para poder establecer finalmente las conclusiones. Como es natural, tales conclusiones, cuando se comienza a establecerlas, nada tienen que ver con las verdaderas mediciones experimentales. Por tanto, una hipótesis jamás podrá ser declarada exacta o falsa a la luz de dichas mediciones. Todo lo más que podemos preguntarnos es hasta qué punto son o no útiles para algún fin práctico y ahora llegamos a la otra faceta de la imagen.

Esa ideal clarividencia de los ojos espirituales, que ven tras los diversos procesos a la naturaleza física, es debida exclusivamente al hecho de que en este caso la naturaleza del mundo físico es algo que ha sido modelado por la mente del mismo observador. En tanto que este mundo construido intuitivamente sigue siendo un mundo hipotético, el creador tiene perfecto conocimiento y dominio sobre él, y puede modelarlo de la forma que quiera, pues por lo que a la realidad se refiere no tiene valor alguno. El valor se adquiere en el momento en que el sistema teórico, sobre el cual ha sido planeado ese mundo hipotético, se corporiza con los resultados que se obtienen mediante las mediciones experimentales.

Ahora bien, un simple proceso físico de medición nos informa tan escasamente acerca del relato que podamos hacer del mundo físico como pueda informarnos acerca de la realidad de ese mismo universo. En definitiva, el proceso de la medición representa más bien un suceso en los órganos sensoriales del investigador que está en relación con lo que sucede en el aparato que está utilizando. Todo lo que puede decirse acerca de esa relación con respecto a la realidad externa es que existe cierta conexión entre ellos. Las mediciones por sí mismas no nos dan resultados inmediatos que tengan una propia significación. La tarea de la ciencia es intentar el establecimiento del significado de la conexión antes mencionada, y, al mismo tiempo, la tarea del explorador científico es llevar a cabo las mediciones físicas necesarias. La primera labor únicamente puede ser cumplida por la mente especulativa del investigador.

Las dificultades epistemológicas que han surgido en la esfera de la física teórica durante el desarrollo de la teoría de los cuantos parecen ser debidas al hecho de que los ojos materiales del físico experimentador han sido identificados con los ojos espirituales del especulador científico. En realidad los ojos materiales, al ser parte del proceso físico de la naturaleza, son el objeto más bien que el sujeto de la exploración científica. Y como el acto de la medición tiene una influencia mayor o menor sobre el proceso que se está observando, es prácticamente imposible separar la ley que intentamos descubrir tras del suceso mismo, de los métodos que están siendo utilizados para realizar el descubrimiento.

Cierto es que cuando se trata de fenómenos naturales en masa, por ejemplo, un grupo de átomos considerados en conjunto, no es probable que el método de medición influya sobre el curso de los acontecimientos observados. Por esta razón, en el primer período de la ciencia física, que ahora se denomina física clásica, la opinión se inclinaba a considerar que las mediciones por sí mismas proporcionan una visión directa de los sucesos de la naturaleza. Pero en esta suposición, como ya hemos visto, existe un error fundamental, que es la contrapartida del error positivista, el prestar atención únicamente a los resultados proporcionados por las mediciones experimentales y despreciar completamente la realidad interna del proceso natural. Mientras por una parte reconocemos que esto es un error, por la otra debemos darnos cuenta de que si abandonamos los métodos experimentales no disponemos de medios para materializar los acontecimientos reales. Pero cuando nos enfrentamos con el cuanto indivisible de acción, el límite es llevado, con matemática exactitud, hasta un grado en el cual la más delicada medición física es incapaz de dar una respuesta satisfactoria en cuestiones relacionadas con el comportamiento individual de los procesos más minúsculos. El resultado es que el problema de esos procesos infinitesimales ya no tiene significación para la investigación puramente física. Ahora llegamos al punto donde estos problemas tienen que ser elaborados por la razón especulativa. Y es en esta forma abstracta como deben ser tomados en consideración cuando intentamos completar la imagen física del universo y acercarnos al descubrimiento de la realidad externa.

Lanzando una ojeada hacia el camino por el cual la ciencia física ha avanzado hasta ahora, hay que admitir que los ulteriores progresos dependerán esencialmente del desarrollo y amplia aplicación de nuestros métodos para practicar las mediciones. Podrá, pues, apreciarse lo lejos que estoy del concepto positivista. La diferencia entre nosotros es que el positivismo considera las mediciones experimentales, a través de la percepción sensorial, como el todo y el fin del proceso a lo largo del cual la ciencia física progresa, mientras que yo creo que el estudioso de las realidades físicas considera los resultados de las mediciones como un complejo más o menos intrincado que registra las reacciones que se producen en el mundo exterior, dependiendo su exactitud no sólo de los instrumentos registradores, sino también de los órganos sensoriales interpretadores del investigador. El adecuado análisis y corrección de este complejo dictamen es una de las principales funciones de la investigación científica. Por tanto, de los resultados que nos proporcionan las determinaciones experimentales deberán elegirse aquellos que tengan un alcance práctico para el objeto de nuestra pesquisa, pues cada particular intento para descubrir la realidad del universo físico representa una forma especial de una cierta cuestión que planteamos a la naturaleza.

Ahora bien, no es posible plantear una cuestión razonable a no ser que dispongamos de una teoría razonable a cuya luz se establezca. En otras palabras, es necesario construir mentalmente una hipótesis teórica y someterla a la prueba de las mediciones experimentales. He aquí la causa de que ciertas investigaciones

tengan un significado a la luz de una teoría, pero no a la que irradia otra. Y así ocurre muchas veces que la significación de un problema cambia cuando se modifica la teoría a cuya luz se planteó.

Sirva de ejemplo la transmutación de algunos metales corrientes, como la plata, el oro. Para quienes vivieron en los días de la alquimia este problema tenía una enorme significación, e innumerables investigadores sacrificaron sus recursos y sus vidas con ánimo de resolverlo.

El problema perdió toda significación y fue considerado como una necesidad cuando quedó establecido el dogma de que los átomos no pueden transmutarse. Pero en la actualidad, desde que Bohr ha emitido su teoría de que el átomo de oro sólo difiere del de la plata por la pérdida de un electrón, el problema se ha actualizado, y han sido aplicados los más modernos métodos con el propósito de llegar a una solución. Se aprecia la verdad del antiguo adagio de que la experiencia muestra la ruta del estudio científico. Cuando se examinan inteligentemente incluso los más inútiles experimentos, éstos pueden abrir el camino hacia los más sensacionales hallazgos. Y es así cómo aquellos ensayos más o menos arbitrarios para hacer oro han abierto el camino a la química científica. Desde el problema insoluble del perpetuum mobile surgió, finalmente, el principio de la conservación de la energía. La larga serie de vanas tentativas para medir el movimiento de la Tierra condujo al descubrimiento de la teoría de la relatividad. Los hallazgos experimentales y teóricos están siempre relacionados, y los unos no pueden progresar sin los otros.

Se observa muchas veces que cuando un nuevo progreso en la ciencia teórica ha quedado definitivamente establecido, ciertos problemas relacionados con él son considerados como insensateces. Es más, también se ha intentado algunas veces demostrar la falta de significación de tales problemas sobre fundamentos a priori. Esto es un error. Ni el movimiento absoluto de la Tierra —es decir, el movimiento de la Tierra en relación con el éter— ni el absoluto espacio newtoniano, son insensateces, como muchas veces han declarado los popularizadores de la teoría de la relatividad. El primer problema carece de sentido sólo cuando se introduce la teoría especial de la relatividad, y ocurre lo mismo con el segundo cuando se apela a la teoría general de la relatividad.

Cuando nos remontamos en el curso de los siglos vemos que las doctrinas de la interpretación de la naturaleza, que eran consideradas como buenas y sólidas en su época, se han derrumbado al ser iluminadas por la luz de alguna nueva teoría científica. Cumplen un papel, y luego pasan. Y aunque fueron sustituidas por dogmas más científicos, hay que recordar que aquellas viejas teorías tuvieron un sentido y una significación en su época, igual que otras las han tenido en nuestros días hasta que llegó el momento en que nuevas doctrinas han tomado su puesto.

La ley de la causalidad era unánimemente aceptada hasta tiempos muy recientes como un principio fundamental en la investigación científica. Pero ahora se libra en torno de ella una batalla de opiniones. ¿Debe considerarse —tal como hasta ahora se ha hecho— que el principio de la causalidad tiene validez y fuerza en

todos los fenómenos físicos? ¿O tiene únicamente una sumaria significación científica cuando se aplica a los átomos? Esta cuestión no puede ser resuelta refiriéndola a cualquier teoría epistemológica o sometiéndola a la prueba de las mediciones experimentales. En su tentativa de construir su imagen hipotética del universo externo, el físico puede o no, según le plazca, basar su síntesis sobre el principio de una estricta causalidad dinámica o adoptar tan sólo una causalidad estadística. Lo más importante de la cuestión es saber hasta qué grado se avanza por uno u otro camino. Y la única respuesta posible es la elección provisional de uno de los dos puntos de vista y el estudio de las conclusiones que pueden ser lógicamente deducidas de la aceptación de ese punto de vista, lo mismo que hicimos al ocuparnos del positivismo.

En principio no hay duda de que de los dos puntos de vista se elige el primero. En la práctica se elegirá, como es natural, aquel que prometa ser más satisfactorio en sus resultados lógicos y ahora debo declarar explícitamente mi creencia de que la causalidad estrictamente dinámica debe merecer nuestra preferencia, simplemente porque la idea de un Universo gobernado por leyes dinámicas le da una más amplia y profunda aplicación que la idea meramente estadística, la cual restringe desde el principio el alcance del descubrimiento; en efecto, en la física estadística existen tan sólo leyes que se refieren a grupos de fenómenos. Los acontecimientos particulares, como tales, son admitidos y reconocidos expresamente, pero la cuestión de su seriación gobernada por leyes es considerada absurda basándose en

fundamentos a priori. Esta forma de proceder no me parece que sea satisfactoria, y no he sido capaz de encontrar ni el más leve motivo que obligue a renunciar a la aceptación de un universo estrictamente gobernado por leyes, si bien sea un problema a tratar el descubrimiento de la naturaleza de las fuerzas físicas o espirituales que nos rodean.

Es obvio que de la sucesión de las experiencias realizadas no pueda deducirse una conexión estrictamente causal, sino tan sólo una relación estadística. Incluso las más delicadas mediciones están expuestas a errores accidentales e imposibles de prever.

Una observación experimental presenta, como hemos visto, un complejo resultado construido por diferentes elementos. E incluso, aunque todo elemento sea la consecuencia causal directa de otro, no es posible considerar a ese elemento original como estrictamente causal en el experimento, independientemente de los otros, ya que puede producir resultados muy variados según la combinación en la cual se aplique cada factor elemental.

Y ahora surge una cuestión que parece colocar un límite definitivo e infranqueable al principio de la estricta causalidad, al menos en la esfera espiritual. Esta cuestión tiene tanto interés para la humanidad que me parece debe ser tratada antes de finalizar el presente capítulo. Es la cuestión de la libertad de la voluntad humana. Nuestra propia conciencia nos informa que nuestra voluntad es libre y la información que esta conciencia nos proporciona directamente es el definitivo y más elevado ejercicio de nuestro poder de comprensión.

Permítasenos, por un momento, preguntamos si la voluntad humana es libre o si está determinada de una forma estrictamente causal. Estas dos alternativas parecen excluirse recíprocamente. Y como la primera debe recibir una respuesta afirmativa, la aceptación de una ley de estricta causalidad que actúa en el Universo, parece quedar reducida a un absurdo, al menos en este caso. En otras palabras, si aceptamos la ley de causalidad estrictamente dinámica que regidora del universo ¿cómo es posible excluir la voluntad humana?

Se ha realizado ensayos para resolver este dilema. El propósito que los ha guiado ha sido, en la mayor parte de los casos, establecer un límite exacto más allá del cual no puede ser aplicada la ley de la causalidad. Los recientes progresos en la ciencia física han venido a inmiscuirse en la cuestión., y la libertad de la voluntad humana ha sido aducida como una base lógica para aceptar que en el Universo físico actúa tan sólo una causalidad estadística.

Según ya he dicho en otras ocasiones, me niego a sumarme a esa opinión. Si la aceptásemos, el resultado lógico sería considerar que la voluntad humana está sometida a los vaivenes de la ciega casualidad. En mi opinión, el problema de la voluntad humana nada tiene que ver con la oposición entre la física causal y la estadística. Su importancia es de un carácter mucho más profundo y completamente independiente de cualquier hipótesis física o biológica.

Me inclino a creer, como algunos famosos filósofos, que la solución del problema se encuentra en otra esfera. Cuando se examina

detenidamente, la alternativa antes mencionada — ¿la voluntad humana es libre o está determinada por una ley de estricta causalidad?— se basa sobre una disyunción lógica inadmisible. Los dos casos que aquí se oponen no excluyen un tercero. ¿Qué significa entonces decir que la voluntad humana está causalmente determinada? Sólo puede tener una significación, la de que cada acto volitivo, con todos sus motivos, puede ser previsto y predicho, claro es que tan sólo por quien conoce el ser humano en cuestión, con todas sus características espirituales y físicas, y que ve clara y directamente a través de su vida consciente y subconsciente. Pero esto significa, a su vez, que tal persona estará dotada de poderes espirituales de absoluta clarividencia; en otras palabras, estará dotada de visión divina.

Ahora bien, a la mirada de Dios todos los hombres son iguales. Incluso los genios más eminentes, como Goethe y Mozart, son algo así como seres primitivos, cuyos más íntimos pensamientos y complicados sentimientos semejan un collar de perlas que se despliega en regular sucesión ante sus ojos. Esto no empequeñece la grandeza de los hombres geniales, pero por nuestra parte sería un estúpido sacrilegio si quisiéramos arrogarnos el poder de ser capaces, basándonos en nuestro propio estudio, de ver con la claridad con que ven los ojos de Dios, y comprender con la claridad con que el Espíritu Divino comprende.

La inteligencia ordinaria no puede penetrar en las grandes profundidades del pensamiento, y cuando decimos que los fenómenos espirituales están determinados, el juicio elude la

posibilidad de la prueba. Es de un carácter metafísico, lo mismo que el juicio de que existe un mundo exterior real. Pero el juicio de que los fenómenos espirituales están determinados es lógicamente inatacable y desempeña un papel importante de nuestra persecución del conocimiento, dado que forma la base de todas las tentativas para comprender las conexiones entre los acontecimientos espirituales. Ningún biógrafo intentará resolver, la cuestión de los motivos que gobiernan los actos de su héroe, atribuyéndolos al mero azar.

Atribuirá su incapacidad a la falta de datos, o admitirá que sus poderes de penetración espiritual no llegan a bucear en la profundidad de esos motivos. En la práctica de la vida cotidiana nuestra actitud para con el prójimo está basada en la aceptación de que sus palabras y actos están determinados por diferentes causas que radican en la naturaleza individual misma o en el medio, incluso aunque se admita que las fuentes de esas causas no pueden ser descubiertas por nosotros.

¿Qué queremos significar cuando decimos que la voluntad humana es libre? Tales palabras significan que siempre tenemos la posibilidad de elegir entre dos alternativas cuando llega el momento de tomar una decisión. Este juicio no está en contradicción con lo que ya se ha dicho. Hallaríase en contradicción tan sólo cuando un hombre fuera capaz de ver perfectamente a través de sí mismo, como los ojos de Dios pueden hacerlo; entonces, basándose en la ley de causalidad, podría prever todas las acciones de su voluntad, y, en consecuencia, ya no sería libre. Pero el caso queda lógicamente

excluido, pues los ojos más penetrantes son incapaces de verse, al igual que un instrumento de trabajo no puede actuar sobre sí mismo. El objeto y el sujeto de un acto de conocimiento jamás pueden ser identificados. Así, sólo es posible hablar de acto de conocimiento cuando el objeto que va a ser conocido no es influido por la acción del sujeto que inicia y realiza dicho acto. Por tanto, la cuestión de si la ley de causalidad es aplicable en este caso, o si es un contrasentido aplicarla a la acción de la propia voluntad, es algo así como si alguien se preguntase si podría elevarse por encima de sí mismo o correr tras de su sombra. En principio cualquier hombre puede aplicar la ley de causalidad a los sucesos del mundo que le rodea, tanto en el orden espiritual como en el físico, de acuerdo a la medida de su propia capacidad intelectual; pero tan sólo puede hacerlo cuando está seguro de que el acto de aplicar dicha ley no tiene influencia sobre el suceso mismo. En consecuencia, no le es posible aplicar la ley de causalidad a sus futuros pensamientos o a los actos de su propia voluntad. Estos son los únicos objetos que para el individuo no caen dentro de la fuerza de la ley de causalidad de tal modo que pueda ejercer su acción sobre ellos. Y estos objetos son sus más queridos e íntimos tesoros. De su sabio gobierno dependen la paz y felicidad de su vida. La ley de causalidad no puede dictar la línea de acción y no es capaz de relevar al individuo de la responsabilidad moral de sus propias acciones. La sanción de la responsabilidad moral procede de otra ley que nada tiene que ver con la ley de causalidad.

La propia conciencia es el tribunal que aplicará esa ley de responsabilidad moral, y oír sus advertencias y sanciones siempre que quiera oír las. Es un peligroso acto de auto engaño intentar desprenderse de una obligación moral desagradable aduciendo que la acción humana es el inevitable resultado de una inexorable ley de la naturaleza. El ser humano que considera su propio futuro como previamente determinado por el destino, o la nación que cree en una profecía según la cual está llamada a derrumbarse en virtud de una ley de la naturaleza, únicamente reconoce una falta de voluntad para esforzarse y vencer.

Y así llegamos al punto donde la ciencia reconoce unos límites más allá de los cuales no puede pasar, y señala las apartadas regiones que yacen fuera de la esfera de sus actividades.

El hecho de que la ciencia declare sus propios límites nos da mayor confianza en sus afirmaciones cuando habla de aquellos resultados que corresponden a su propio campo.

Pero, por otra parte, no hay que olvidar que las diferentes esferas de la actividad del espíritu humano jamás se hallan aisladas unas de otras, ya que existe una íntima y profunda conexión entre todas ellas.

Partimos del territorio de una ciencia especial y trabajamos en una serie de problemas que son de un carácter puramente físico; pero esos problemas nos conducen desde el mundo de las simples percepciones sensoriales al mundo metafísico. Y en este mundo nos enfrentamos con la imposibilidad de conocerlo directamente. Es una tierra misteriosa. Es un mundo cuya naturaleza no puede ser

comprendida por los humanos poderes de concepción mental; pero nos es posible percibir su armonía y belleza cuando nos esforzamos por comprenderla.

Y allí, en el umbral de ese mundo metafísico, nos colocamos frente a frente a la cuestión suprema, la de la libertad de la voluntad humana. Es una cuestión en la que cada uno debe meditar por sí mismo si desea reflexionar seriamente acerca de lo que puede ser la significación de su vida.

### ***§. Causalidad y libre albedrío: estado actual del problema***

Este es uno de los más antiguos enigmas. ¿Hasta qué punto puede armonizarse la independencia de la volición humana con el hecho de que somos partes integrantes de un universo sometido a las rígidas órdenes de las leyes de la naturaleza?

A primera vista estos dos aspectos de la existencia humana parecen ser lógicamente inconciliables. Por una parte se presenta el hecho de que los fenómenos naturales ocurren invariablemente de acuerdo a la rígida seriación de causa a efecto. Este es un postulado indispensable de toda investigación científica, no simplemente para el caso de aquellas ciencias que se ocupan de los aspectos físicos de la naturaleza, sino también para el caso de las ciencias que se refieren a la mente humana, como la psicología. De todos modos, la admisión de una indefectible secuencia causal de todos los acontecimientos es la base sobre la cual se regula nuestra conducta en la vida cotidiana. Pero, por otra parte, tenemos nuestra más directa e íntima fuente de conocimiento, que es la conciencia, la

cual nos dice que en última instancia nuestros pensamientos y voliciones no están sometidos a ese orden causal. La voz interna de la conciencia nos afirma que en un momento dado somos capaces de elegir entre ésta o aquella alternativa. Y el corolario es que el ser humano debe ser considerado generalmente responsable de sus propias acciones. Sobre esta afirmación se basa la dignidad ética de los hombres.

¿Cómo podemos conciliar esa dignidad con el principio de la causalidad? Cada uno de nosotros es una parte integral del mundo en que vivimos. Si cualquier otro acontecimiento del universo es un eslabón en la cadena causal que nosotros llamamos el orden de la naturaleza, ¿hasta qué punto el acto de la volición humana puede ser considerado como independiente de ese orden? El principio de causalidad es universalmente aplicable o no lo es: de no serlo ¿dónde debemos trazar la línea divisoria y por qué una parte de la creación está sometida a una ley que por su naturaleza parece universal mientras que otra parte queda exceptuada de ella?

En todas las razas civilizadas, los pensadores más profundos se han planteado este problema y han sugerido innumerables soluciones. No tengo la intención de añadir una más a la suma total. Mi razón para colocar el problema en relación con mi propia ciencia es que la controversia ha penetrado ahora en el campo científico. Partiendo de las sugerencias que se han hecho acerca de la inaplicabilidad del principio causal a ciertos tipos de investigación en la ciencia física, han sido deducidas amplias conclusiones, y la vieja controversia se ha renovado ahora de un modo todavía más violento que antes.

Después de todos los pensamientos que han sido emitidos acerca de esta cuestión, desde que el hombre comenzó a razonar acerca de su lugar en el universo, puede justificadamente aceptarse que el problema de la causalidad está ahora más cerca de su solución que lo estuvo antes, aunque concedamos que es imposible una solución completa y final dada la naturaleza de la cuestión en sí. Razonablemente podíamos esperar que en este período de la controversia los litigantes llegaran, al menos, a un acuerdo sobre la naturaleza de los problemas fundamentales surgidos de la discusión. Pero ha ocurrido lo contrario. En la actualidad no es simplemente el problema en sí mismo el que se debate, sino también las ideas básicas involucradas en él han sido tomadas en consideración —por ejemplo, la significación del concepto causalidad en sí mismo, cuestiones epistemológicas referentes a los objetos que deben ser incluidos dentro de los fines legítimos del conocimiento humano, la diferencia entre objetos que son sensorialmente perceptibles y objetos que se hallan fuera de esta categoría, etc. Todas estas disputas accesorias han aumentado la confusión.

Los protagonistas se han dividido principalmente en dos escuelas. Una de ellas se interesa especialmente en el problema desde el punto de vista del progreso del conocimiento, manteniendo que el principio de la estricta causalidad es un postulado indispensable en la investigación científica, incluso en la esfera de la actividad mental. Como una consecuencia lógica de esta actitud, sus partidarios declaran que no podemos exceptuar la actividad

humana, en ninguna de sus formas, de la ley universal de la causalidad. La otra escuela se ocupa más de la conducta de los seres humanos y del sentido de dignidad humana, sintiendo que se trataría de una degradación inconcebible que los seres humanos, incluyendo los casos más elevados de mentalidad y de ética, fueran considerados como autómatas inanimados en las manos de una férrea ley de causalidad.

Para esta escuela de pensadores, la libertad de la voluntad es el atributo más elevado del hombre. Por tanto, debemos afirmar, dicen estos pensadores, que la ley de causalidad no rige para la vida más elevada del alma o, al menos, no debe ser aplicada a los actos mentales conscientes de las figuras más señaladas de la humanidad.

Entre estas dos escuelas existe gran número de pensadores que se hallan más o menos equidistantes de ellas, pues se dan cuenta, en cierto sentido, de que ambas partes tienen razón. No quieren negar la validez lógica de una posición ni la validez ética de la otra.

Reconocen que en las ciencias mentales, el principio de causalidad, como una base de investigación científica, ha sido ahora llevado con ventajosos resultados más allá de los límites de la naturaleza inanimada. En consecuencia, no quieren negar el juego de la causalidad en la esfera mental, aunque ellos podrían igualmente erigir una barrera en algún punto dentro de esa esfera y atrincherar la libertad de la volición humana tras de ella.

Entre aquellos que tampoco pertenecen a ninguna de las dos escuelas extremas, quizá se deba también mencionar a ciertos

hombres de ciencia que están en contra de la aplicación universal del principio de la causalidad en las ciencias físicas. Estos hombres piensan que es inaplicable a los fenómenos naturales que son estudiados en la física de los cuantos. Pero la mayor parte de los científicos que mantienen esto no hacen cuestión de la validez universal del principio en sí mismo. Sin embargo, esa actitud debe ser mencionada en este lugar, pues aunque no constituya una escuela de pensamiento, indica una tendencia. Y en tanto que esta tendencia ha sido explotada por los divulgadores que hablan de espontaneidad en la labor interna de la naturaleza, merece ser considerada, aunque sólo sea con el propósito de mantener una clara línea de comunicación entre la ciencia seria y el público que piensa seriamente.

Como la controversia general en sí misma nada tiene que ver con la ciencia física, a los físicos, como tales, no les concierne este problema. Pero la controversia afecta ahora al método básico sobre el cual las investigaciones científicas se realizan. Si las bases de la causalidad no son válidas, ¿cómo podremos considerar exactos los resultados a que se llega sobre esta base? La controversia afecta, por tanto, al ansia general de merecer confianza que hace progresar las ciencias naturales. Esta es la razón de por qué estoy yo discutiendo en este lugar como un físico, con la esperanza de que lo que yo diga pueda servir para mantener claramente los fundamentos sobre los cuales la rama de la ciencia a que me dedico basa sus derechos a ser creída.

Consideremos primeramente el problema en su aspecto general. ¿Qué significa el concepto involucrado en la expresión ley de causalidad? En la vida cotidiana estamos familiarizados con la idea de una causa, e imaginamos que, como en todas las cosas de la vida diaria, la explicación de esta idea es por demás sencilla. El sentido común y la experiencia cotidiana nos muestran que todas las cosas y sucesos son productos de otras cosas y sucesos.

Decimos que aquello que sucede ante nuestros ojos es el efecto de otra cosa, y denominamos causa a esa otra cosa, admitiendo, al mismo tiempo, que varias causas pueden haber contribuido a producir uno y el mismo efecto. Por otra parte, nos damos cuenta de que los mismos efectos pueden ser a su vez la causa de sucesos subsiguientes.

Cuando nos encontramos cara a cara con un suceso que no nos es posible referir a alguna causa o serie de causas, y que se halla fuera de todas las causas que nos son familiares ¿qué ocurre? ¿Es cierto y necesario para el pensamiento humano que cualquier suceso, en cualquier momento, deba obedecer a una causa correspondiente? ¿Implicaría una contradicción lógica que en este o aquel caso el suceso hubiera ocurrido absolutamente por sí y sin relación causal con otro suceso? Como es natural, la respuesta es negativa, pues es muy fácil pensar que un suceso no reconozca una causa que lo explique. En tales casos hablamos de milagros, de maravillas y de magia y el simple hecho de que exista todo un tipo de literatura que se desenvuelve en países de maravillas prueba por sí mismo que el concepto de causalidad estricta no es una necesidad inherente al

pensamiento humano. Finalmente, la mente humana encuentra pocas dificultades para pensar que cualquier cosa del mundo puede, en determinado momento, trastrocarse. Podemos decirnos, por ejemplo, que mañana el sol saldrá, para cambiar, por Occidente. Podemos decirnos que puede ocurrir un milagro de la naturaleza contrario a todas las leyes conocidas. Podemos suponer, por ejemplo, que las cataratas del Niágara broten hacia arriba, aunque esto sea imposible en el mundo de la realidad. Puedo pensar que la puerta de la habitación en que estoy escribiendo se abra espontáneamente, y puedo imaginar que personajes históricos penetran en la estancia y se acercan a mi mesa. Hablar de tales acontecimientos en el mundo de la realidad puede ser un contrasentido, y podemos denominarlos imposibles, al menos en nuestra forma cotidiana de razonar. Pero debemos distinguir este tipo de imposibilidad de la imposibilidad lógica, como es la idea de un círculo cuadrado o la de que una parte del todo sea más grande que éste, pues por más esfuerzos que hagamos para pensar en tales cosas, no podemos concebirlas en tanto que encierran una contradicción interna. Podemos pensar en una parte y podemos pensar en el todo al cual esa parte pertenece, pero nos es imposible imaginar que esta parte sea más grande que el todo. Este tipo de imposibilidad es inherente a la naturaleza del pensamiento humano mismo, mientras que la idea de que suceda algo fuera de los límites de la causalidad tiene una coherencia lógica.

Así, desde el primer momento podemos ser perfectamente claros acerca de un hecho muy importante, el de que la validez de la ley de

causalidad para el mundo de la realidad es una cuestión que no puede ser decidida basándose sobre razonamientos abstractos. Pero la realidad, no importa que pueda decirse lo contrario, es sólo una particular y pequeña parte de esa inmensa esfera hacia la cual puede dirigirse el pensamiento humano. Esto es cierto incluso aunque nuestro poder imaginativo tenga siempre que tomar su punto de apoyo en alguna experiencia real. En definitiva, la experiencia es para nosotros el punto de partida de todo pensamiento; pero poseemos el don de ir con el pensamiento más allá de la realidad y para tener esta facultad imaginativa no hay que ser poeta, ni músico, ni artista. Realmente, uno de los más elevados y preciosos dones que el hombre posee es este poder de elevarse con el pensamiento hacia los reinos de la luz cuando el peso de la vida cotidiana gravita sobre nosotros y se hace intolerable.

Las creaciones del arte son similares a las de la ciencia, al menos por lo que se refiere a la investigación científica, en el estricto sentido del término, que jamás puede avanzar sin la fuerza creadora del talento imaginativo. El hombre que no puede imaginar sucesos y condiciones de existencia contrarios al principio causal que él conoce, jamás enriquecerá su ciencia con la adición de una nueva idea. Y este poder de pensar más allá de los límites de la causalidad es un prerequisite, no sólo para la construcción de hipótesis, sino también para la coordinación satisfactoria de los resultados a que ha llegado la investigación científica. Es la visión imaginativa la que permite emitir una hipótesis, y luego viene la investigación experimental para establecer las pruebas de la hipótesis. Los

resultados a que inmediatamente se llega mediante el experimento tienen que ser coordinados, y así formar la base de una teoría con la esperanza de descubrir las leyes naturales que rigen el fenómeno que ha sido estudiado. Esta obra pone otra vez en juego el poder imaginativo, y nuevos experimentos proporcionan a las leyes así construidas la demostración definitiva.

Para demostrar hasta qué punto el espíritu científico debe necesariamente imaginar alternativamente sucesos que se encuentran fuera de los verdaderos límites de la causalidad, cuando busca establecer sus conclusiones, permítasenos citar un ejemplo tomado de las ciencias naturales. Pensemos en un rayo de luz que llega hasta nosotros desde una estrella lejana. También podemos pensar que procede de alguna fuente más cercana como una lámpara eléctrica: y pensemos también que atraviesa varios medios transparentes de diferentes densidades, como el aire, el cristal, el agua, etc., antes de alcanzar finalmente nuestros ojos. ¿Qué ruta puede elegir la luz desde su punto de origen hasta el ojo del observador? Hablando en términos generales no puede ser una línea recta, pues cuando la luz pasa de un medio a otro, su dirección se aparta de la dirección de la línea de entrada.

Todos estamos familiarizados con este fenómeno que puede apreciarse sumergiendo un bastón en el agua.

La línea de luz que marcha desde el bastón hacia los ojos se dobla en el punto en que cambia de medio. Así, la línea de transmisión de un rayo de luz que procede de una lejana fuente hasta llegar al ojo, se desviará en cada uno de los diferentes medios transparentes a

través de los cuales pasa; es decir, su curso será en zig-zag y de acuerdo al número y a las diferentes densidades de los medios que atraviesa. Incluso en la atmósfera misma, la línea que sigue un rayo de luz es completamente irregular, debido a que la atmósfera posee diferente poder de desviación en las diferentes alturas.

Ahora bien ¿podemos hallar alguna fórmula que nos dé el verdadero camino que sigue nuestro imaginario rayo de luz? Podemos. La respuesta está bien definida: está contenida en esa notable ley de la naturaleza según la cual un rayo de luz que procede de una fuente distante elegirá siempre entre las diversas rutas que están a su disposición, el camino que le llevará al ojo del observador en el espacio de tiempo más breve, admitiendo el hecho de que la luz deba pasar a través de los diferentes medios con distintas velocidades. Este es el principio denominado de la "llegada más rápida", principio que ha sido muy útil en las investigaciones científicas. Pero no tendría significación alguna en aquellos casos en que no estemos en situación de imaginar otros caminos alternativos a través de los cuales pueda viajar la luz, aunque en realidad no llegue a hacerlo a lo largo de estas vías y, por tanto, sean causalmente imposibles, en el sentido de que la luz no pueda realmente venir por otro camino. Todas las rutas alternativas que podemos imaginar sólo son posibles en el reino abstracto del cerebro, siendo imposibles en la realidad de la naturaleza. Sería como si la luz poseyera cierta cantidad de inteligencia y actuara por la necesidad de su propia naturaleza con el laudable principio de cumplir su tarea en el menor tiempo posible. Por tanto, no tiene la

oportunidad de perder tiempo en intentar caminos alternativos, pues tiene que decidirse inmediatamente por el camino más rápido. Existen otros casos similares en las ciencias naturales, por ejemplo, en los movimientos virtuales que no obedecen a las leyes dinámicas, y que, por' tanto, son imposibles en el sentido causal. Todas estas fantásticas conclusiones desempeñan un importantísimo papel en la ciencia teórica. Se emplean como instrumentos muy eficaces del pensamiento para el planteamiento de investigaciones y para la construcción de teorías. En consecuencia, no implican ciertamente contradicción alguna de las leyes del pensamiento mismo.

Una vez resuelto que la ley de la causalidad no es en modo alguno un instrumento necesario en el proceso del pensamiento humano, podemos permitimos abordar el problema de su validez en el mundo de la realidad. En primer término permítasenos preguntamos ¿qué debe entenderse por el término causalidad? Podemos entender con este concepto una interrelación regular entre los efectos que subsiguen uno a otro en el tiempo, pero también podemos preguntamos simultáneamente si esa relación está fundada en la misma naturaleza de las cosas o si es total o parcialmente un producto de la facultad imaginativa. ¿Es posible que la humanidad haya desarrollado originalmente ese concepto de causalidad para satisfacer las necesidades de una vida práctica, pero más tarde haya observado que si los hombres estuvieran limitados a una perspectiva exclusivamente basada sobre este principio, la vida podría resultar insoportable? No necesitamos demorarnos aquí en la discusión de los diversos aspectos filosóficos de este problema. ¿No

es mucho más interesante, para nuestro actual propósito, preguntarse si la conexión causal entre los acontecimientos debe ser considerada como absolutamente completa y siempre ininterrumpida, o si hay sucesos que no intervienen en la cadena como eslabones relacionados?

Veamos, en primer término, si esta cuestión puede ser planteada con una sistemática aplicación de razonamientos deductivos. En realidad, algunos de los más famosos filósofos de la historia del pensamiento humano han propuesto soluciones del problema causal que están basadas sobre fundamentos puramente abstractos. Estas soluciones parten del axioma *ex nihilo nihil fit*, nada viene de la nada, o, en otras palabras, ningún suceso en el mundo tiene en sí mismo una adecuada explicación de su propia existencia. Remontándose en los razonamientos, los filósofos de la que se ha denominado generalmente la escuela racionalista, establecieron como una necesidad lógica la existencia de una Suprema Causa.

Esta Suprema Causa es el Dios de Aristóteles y de los filósofos escolásticos.

Como una consecuencia lógica del razonamiento así aceptado era necesario atribuir a esta Divinidad la posesión, en su plenitud, de todas las perfecciones que se hallan presentes en el mundo. Si existe realmente una Suprema Causa fuera del mundo, que es el Creador del mundo y el Creador de todas las cosas en el mundo, sólo podremos deducir la naturaleza de esta Suprema Causa mediante un estudio de Su obra. Según esto, se puede fácilmente

ver que la naturaleza que hay que atribuir a esa Suprema Causa tiene que depender necesariamente de la apreciación del hombre respecto a las cosas creadas. En otras palabras, el concepto de la Divinidad en este caso debe tomar su matiz del aspecto del mundo, según lo juzga el filósofo en cuestión, individualmente considerado, o según la base cultural que ese individuo posea. En el intento que han hecho los escolásticos para armonizar el Jehová de la cultura judía con el Dios racional de Aristóteles, se ha insistido enfáticamente sobre el hecho de que no hay una contradicción lógica en la idea de que el Creador interponga repentinamente Su mano en el orden de Su propia creación, y así hemos creído en milagros y maravillas establecidos sobre una base filosófica. Por tanto, en la filosofía de la escuela histórica racionalista, aunque se admite el orden de la naturaleza como inevitablemente predeterminado por la Suprema Causa, la cadena causal en el mundo puede, de tiempo en tiempo, interrumpirse por la intervención de un poder sobrenatural.

Pasemos ahora desde la escolástica griega al concepto filosófico moderno del mundo.

Generalmente se considera a René Descartes como el padre de la filosofía moderna. De acuerdo con Descartes, Dios hace todas las leyes de la naturaleza y todas las leyes que gobiernan el espíritu humano por un acto de Su propia libre voluntad, y los propósitos son tan recónditos que el pensamiento humano es incapaz de penetrar en su total significación. Por tanto, en la filosofía cartesiana la posibilidad de los milagros no está en modo alguno

excluida. De todos modos la consecuencia lógica de la inescrutabilidad de los designios de Dios en el mundo, es que debemos admitir la posibilidad de acontecimientos cuya comprensión esté fuera de los límites del interés humano. Pueden ser llamados misterios más bien que milagros, en el sentido escolástico del último término. En otras palabras, como nuestras mentes no son capaces de abarcar las leyes que guían el universo, debemos contentarnos con considerar ciertos acontecimientos como más allá de nuestro poder de explicación y referirlos tan sólo a los misteriosos caminos de la Divina Providencia. Para la ciencia, esto significa que prácticamente hay que admitir la existencia de interrupciones en la cadena causal.

En contraposición con la divinidad cartesiana, el Dios de Baruch Spinoza es un Dios de armonía y orden cuya naturaleza compenetra de tal modo toda la creación que la relación causal universal es en sí misma divina, y, por tanto, absolutamente perfecta, no permitiendo excepciones. En el concepto del mundo de Spinoza no hay lugar para la casualidad o el milagro, esto es, la interrelación causal es absolutamente ininterrumpida.

El siguiente gran nombre que viene a nuestra memoria al examinar las diversas filosofías que se han fundado sobre una base racionalista, es el de Gottfried Wilhelm Leibniz. Según Leibniz, el mundo ha sido hecho en cumplimiento de un plan que corresponde a la suprema sabiduría del Creador. En todas las cosas creadas Dios implantó la ley de su propio Ser individual, de modo que cada ser en el mundo es independiente y se desarrolla

independientemente de las restantes cosas, siguiendo tan sólo la ley de su propio destino individual. Por tanto, según Leibniz, la interrelación causal entre una cosa y otra es únicamente aparente. Esto significa que debemos excluir el principio de causalidad.

Podemos concluir, creo, de estos pocos ejemplos, que las teorías filosóficas racionalmente deducidas de los principios abstractos que se refieren al lugar del principio causal en el mundo, son casi tan numerosas como los filósofos. Es obvio que a lo largo de este camino no podamos hacer progresos hacia una solución del problema general.

Ahora llegamos a una brecha en la tradición filosófica. Como quiera que sea, puede decirse frente a la escuela empirista inglesa y sus consecuencias solipsistas <sup>9</sup>, que al menos se abre una brecha con la ingenua arrogancia de la escuela racionalista tradicional y se inicia el camino para el desarrollo de una perspectiva filosófica que está más en armonía con él.

John Locke fue el fundador de esta escuela. Su obra representa el primer ensayo sistemático para estimar desde un punto de vista crítico la certeza y conformidad del conocimiento humano cuando se compara con el universo que lo rodea. Según Locke, todas las ideas dependen, en definitiva, de la experiencia, y este autor entiende por experiencia las percepciones sensoriales de los cinco sentidos. Más allá de estos cinco sentidos existe únicamente la conciencia

---

<sup>9</sup> Solipsismo es la teoría de que el único ser consciente es uno mismo del concepto científico del mundo. La característica sobresaliente en la doctrina de la escuela empirista inglesa es que no existe otra cosa que ciertos conocimientos o ideas innatas, que fueron presumidas por algunos de los primeros filósofos racionalistas. La mente humana, tal como viene al mundo, está absolutamente en blanco, y sobre ella se graban automáticamente las impresiones dadas por los sentidos sin ninguna acción por parte de la mente misma.

reflexiva, que no es un sentido que tenga algo que ver con los objetos, sino que, como dice Locke, "*puede ser llamada con propiedad un sentido interno*".

Lo que nosotros sentimos como caliente o frío, duro o blando, lo que vemos como rojo o azul, es lo que conocemos, y ninguna otra especial definición es necesaria o posible.

Muchas veces se oye hablar de una ilusión de los sentidos, como puede suceder, por ejemplo, en el caso del espejismo. De todos modos esto no implica que la sensación misma sea errónea, sino más bien que las conclusiones que deducimos de la percepción sensorial son incorrectas. Lo que nos engaña no es el sentido perceptivo sino el intelecto racionalizador.

La percepción sensorial es algo enteramente subjetivo, y, por tanto, partiendo de ella, podemos deducir la existencia del objeto. El color verde no es una propiedad de las hojas, sino una sensación que experimentamos al examinar la hoja, y otro tanto ocurre con los restantes sentidos. Hagamos caso omiso de las impresiones sensoriales y nada nos queda del objeto. John Locke parece pensar que el sentido del tacto desempeña un papel más importante que los restantes sentidos, pues a través de él percibimos las cualidades mecánicas de los cuerpos, como el espesor, la extensión, la forma y el movimiento, y Locke parece atribuir estas cualidades a algo que está en los objetos mismos. Pero los últimos empiristas, especialmente David Hume, mantienen que todas las cualidades mecánicas de los cuerpos existen únicamente en los sentidos del sujeto perceptor.

A la luz de esta teoría, el llamado mundo exterior se resuelve en un complejo de impresiones sensoriales, y el principio de causalidad no significa otra cosa que cierto orden experimentado en la seriación de las sensaciones. La idea del orden es, en sí misma, una impresión sensorial que debe ser considerada como algo que se produce inmediatamente, y que no permite un análisis ulterior, pues ese orden puede terminar en cualquier momento.

Por tanto, en este caso no hay causalidad. Se observa que una cosa sigue a la otra, pero la observación no puede afirmar que sea "causada" por ella. Si una bola de billar que se mueve rápidamente choca contra otra y la pone en movimiento, experimentamos dos impresiones sensoriales independientes una tras otra: la percepción sensorial de la bola que se mueve y la percepción sensorial de la que ésta pone en movimiento. Si nos hallamos ante la mesa de billar veremos que estas observaciones se repiten, y podremos registrar cierta regularidad entre las impresiones; por ejemplo, somos capaces de percibir que la velocidad de la segunda bola depende de la velocidad y de la masa de la que choca contra ella. Podremos descubrir también un orden más amplio entre estos dos fenómenos; seremos capaces, por ejemplo, de medir el ruido del impacto por su fuerza, y podremos descubrir el aplastamiento momentáneo de cada bola en el punto de contacto con la otra bola si manchamos una de ellas con un material coloreado. Todas estas observaciones, sin embargo, son únicamente percepciones sensoriales que se acompañan con regularidad o que se desplazan una tras otra regularmente. Pero en tales casos no existe entre unas y otras un

eslabón de conexiones lógicas. Cuando hablamos de la fuerza que la bola que se mueve ejerce sobre la que está en reposo, trátase tan sólo de un concepto de analogía que surge de la sensación muscular que sentimos al mover con la mano la bola que está en reposo en lugar de hacerlo por intermedio de aquella que se mueve. El concepto de fuerza ha sido muy útil para formular las leyes del movimiento, pero desde el punto de vista del conocimiento carece en todos los casos de utilidad. Esto es debido a que no disponemos de un procedimiento para relacionar, a través de un lazo causal o un puente lógico, los diferentes fenómenos del movimiento que hemos experimentado. Las impresiones sensoriales individuales son y permanecerán diferentes, importando poco que puedan percibirse relaciones entre ellas.

En este caso, la significación del principio de causalidad, fundamentalmente considerada, yace simplemente en el juicio de que a partir del mismo o análogo complejo sensorial como causa, podrá seguir el mismo o análogo complejo sensorial como un efecto; pero incluso la cuestión de lo que puede ser considerado como análogo exigirá en cada ocasión una prueba especial. Formulado de este modo, el principio de causalidad queda privado de toda significación profunda, lo cual no quiere decir, sin embargo, que la ley de causalidad carezca de significación práctica para la razón humana. Todo lo que puede deducirse es que el postulado de la causalidad no nos proporciona los fundamentos de un conocimiento cierto.

¿Cómo, entonces, puede ser explicado el hecho de que en la vida diaria consideremos la relación causal de las cosas como algo objetivo e independiente? ¿Cómo puede ser esto si en realidad no experimentamos otra cosa que la sucesión ordenada de percepciones individuales sensoriales? La doctrina del escepticismo empírico responde que esto sucede debido a la enorme utilidad del concepto causal y a la fuerza de la costumbre. La costumbre desempeña, ciertamente, un importante papel en la vida. Desde la infancia en adelante, influye sobre nuestro temperamento, nuestra voluntad y nuestro pensamiento. Nosotros pensamos, comprendemos una cosa, simplemente porque estamos habituados a reparar en ella. La primera vez que algo nuevo llama nuestra atención nos sentimos sorprendidos, pero si la misma cosa sucede por décima vez, supondremos que se trata de un suceso natural. Si el fenómeno tiene lugar por centésima vez diremos que es común e incluso llegaremos a considerarlo como un hecho que necesariamente tiene que ocurrir así. Hace cien años, poco más o menos, la humanidad en general no disponía de más fuerza locomotriz que la muscular del hombre y de las bestias. En consecuencia no se consideraba posible otra forma de fuerza. La fuerza del aire y de los saltos de agua fue reconocida y aplicada a los fines mecánicos, pero en estos casos la fuerza misma estaba estacionaria y no podía trasladarse en un sentido arbitrario. Tan sólo los hombres y los animales, por su fuerza muscular, eran capaces de moverse a voluntad desde un lugar a otro. Se dice que cuando los primeros ferrocarriles atravesaban los campos, los

labriegos se preguntaban unos a otros cuántos caballos estarían ocultos en la máquina. Con las máquinas de vapor y los motores eléctricos que se encuentran en todas partes, los jóvenes de hoy día no pueden fácilmente comprender la mentalidad de los labriegos de hace cien años que sentían la necesidad de atribuir la fuerza locomotriz al poder de los animales.

Hasta este momento los escépticos tienen derecho a decir que es la fuerza del hábito, de la costumbre, la que nos hace atribuir ciertos efectos a ciertas causas. Pero, al mismo tiempo, esta fuerza del hábito no puede explicar por qué establecemos esa relación. En la narración *Rei's Nah Bellingen* de Fritz Reuter, los campesinos cometían indudablemente una ridícula confusión suponiendo que en la máquina de vapor se ocultaban caballos, lo mismo que el antiguo rústico griego caía en un error al atribuir el trueno a la ira de Zeus. Pero aquí no se trata de esto. Se trata más bien de responder a la cuestión de por qué estos sucesos son atribuidos a una causa y cómo es que el concepto de causalidad surge cuando vemos que un acontecimiento sucede a otro. La mera sucesión regulada de las impresiones no nos lo explica.

Si profundizamos algo más en la consideración de la teoría empirista y no preguntamos hasta dónde nos conducirá si las perseguimos hasta sus lógicas consecuencias, llegaremos a un criterio práctico. En primer término, debemos retener en la mente el hecho de que cuando se trata de una cuestión de percepción sensorial, como la única y exclusiva fuente del conocimiento, se tratará en cada caso de la percepción personal sensorial de cada

observador, y que los demás hombres tengan percepciones similares sólo puede ser aceptado por analogía. Pero en la teoría empirista no podemos conocer esto ni puede ser lógicamente demostrado. Por tanto, si nos atenemos a las consecuencias lógicas de la doctrina empirista y excluimos toda suposición arbitraria, tendremos que limitamos, cada uno de nosotros, a los fundamentos de sus propias percepciones sensoriales personales. En consecuencia, el principio de causalidad es únicamente un armazón para nuestras experiencias, que nos ayuda a relacionarlas a medida que van penetrando a través de los sentidos, y siendo completamente incapaces para informarnos de lo que sucederá luego, no podrán decirnos si quedarán interrumpidas en un momento dado. Esta condición del problema parece destruir toda línea de distinción entre las percepciones sensoriales que surgen del mundo de los acontecimientos ordinarios y aquellas que no encuentran su base en alguna parte de ese mundo. Recordemos, por ejemplo, el caso de los sueños. Puedo soñar con toda clase de cosas, pero en el momento en que despierto la realidad de mi ambiente da por tierra con todo lo soñado. Sin embargo, el empirista' no puede lógicamente admitir esto. Para él no existe la realidad de la vigilia, debido a que la sensación subjetiva es la única fuente que informa a la conciencia y la sola base y criterio del conocimiento. Ahora bien, quien sueña cree automáticamente durante el sueño en su realidad, y, de acuerdo a los empiristas, la persona que está despierta cree automáticamente en la realidad de sus percepciones sensoriales.

Pero no tiene más razón que la que tiene el soñador para decir que una serie de percepciones es falsa y la otra verdadera.

Basándose en la lógica pura, este sistema de pensamiento, comúnmente denominado solipsismo, es inexpugnable. El solipsista establece su ego en el centro de la creación, y no considera cualquier conocimiento como real o sólido, excepto aquello que, en aquel momento, está recibiendo a través de sus percepciones sensoriales. Toda otra cosa es derivada y secundaria. Cuando el solipsista duerme, el mundo cesa de existir para él en el momento en que sus ojos, oídos, sentidos del olfato y del tacto se hacen inactivos.

Al despertar en la mañana todas las cosas son nuevas para él. Me imagino, como es natural, lo que un ser humano podría ser si fuera una consecuencia lógica de la doctrina empirista.

No hay ni que decir que todo esto merece el repudio del sentido común, y así, incluso los escépticos más avanzados de estas escuelas se encuentran constantemente comprometidos entre las exigencias del sentido común y las conclusiones puramente lógicas de su propio sistema filosófico. A este respecto es interesante llamar la atención por un momento sobre la figura de una de las personalidades más sobresalientes en la escuela subjetivista, el obispo Berkeley. Siendo estudiante, Berkeley leyó a Locke, pero como estaba dotado de una naturaleza profundamente religiosa dirigió una violenta crítica contra la filosofía de este pensador a causa de su escepticismo. Para Berkeley las cosas existen únicamente en la mente, y el mundo exterior puede ser explicado

tan sólo diciendo que existe en la mente de Dios. Dicho filósofo llega a la existencia de Dios de esta manera: en nuestra propia conciencia existen impresiones que son independientes de nuestra propia voluntad, y algunas veces se presentan incluso en contra de nuestros deseos. Para esas impresiones debemos buscar una pauta fuera de nosotros, y así Berkeley es conducido a establecer la existencia de Dios siguiendo prácticamente la misma línea de razonamiento que la escuela racionalista. Para él, de todos modos, únicamente existe la mente —la Mente Divina y la mente humana. El mundo de la realidad que nosotros percibimos existe tan sólo en nuestra propia mente. Por tanto, siguiendo a Berkeley, no se justifica hablar de una relación causal entre las cosas en el mundo externo de la realidad.

Resumiendo: el empirismo es inatacable sobre la base fundamental de una lógica pura, y sus conclusiones son igualmente inexpugnables. Pero si lo examinamos puramente desde el punto de vista del conocimiento, llegamos a un callejón sin salida que se denomina solipsismo. Para escapar de este impasse no queda otro camino que saltar la valla en alguna parte de él, y preferiblemente en el comienzo. Esto puede ser realizado únicamente introduciendo, de una vez para todas, una hipótesis metafísica que no tenga relación alguna con la experiencia inmediata de las percepciones sensoriales o con las conclusiones lógicas derivadas de ellas.

Immanuel Kant, el fundador de la escuela crítica, fue el primero que reconoció esta verdad y expuso la manera como debe ser dado este paso metafísico. Según Kant, las impresiones sensoriales en nuestra

conciencia no son la única fuente del conocimiento. La mente posee ciertamente conceptos que son independientes de toda experiencia. Son las llamadas categorías, y en la filosofía de Kant constituyen una condición necesaria de todo conocimiento.

Kant concluye que la causalidad es una de estas categorías. Trátase de una de las formas esenciales a priori en la cual la inteligencia ordena espontáneamente su experiencia — algo que no se deriva de la experiencia sino que, por el contrario, se precisa para hacer posible la ordenación de la experiencia misma. Kant formula de este modo el principio de la causalidad: *"Todas las cosas que suceden presuponen un algo, a partir del cual se originan siguiendo una ley"*. Kant mantiene que este postulado es independiente de toda experiencia. Pero la proposición de Kant no puede ser mantenida diciendo que todas las cosas que regularmente suceden a otra tienen una relación causal con ésta. Por ejemplo, apenas puede existir una sucesión más regular que la de la noche siguiendo al día, pero nadie puede afirmar que el día es la causa de la noche. La sucesión, por tanto, no es por sí misma, como quieren los empiristas, identificable a una relación causal. En el ejemplo mencionado del día y la noche, tenemos dos efectos que siguen a la misma causa. Esta causa es doble: por una parte, la rotación de la Tierra sobre su eje, y por otra, el hecho de que la Tierra no es transparente para los rayos solares.

En el sistema kantiano, por tanto, se afirma la validez universal del principio de causalidad.

Al mismo tiempo, sin embargo, no puede negarse que la doctrina de Kant aunque útil y concluyente en la mayor parte de sus resultados, es, en cierto sentido, arbitraria debido a su actitud extraordinariamente dogmática. Esta es la razón de que haya sido objeto de tantos ataques directos y de que se haya modificado algo en el transcurso del tiempo.

No es necesario enfrascarnos en una detallada descripción de la parte filosófica del problema causal desde los tiempos de Kant. Será suficiente exponer las principales características de este desarrollo. La más violenta oposición a la doctrina kantiana surgió de aquellos filósofos que mantenían que se iba demasiado lejos en el campo metafísico. Ahora se acepta que no podemos prescindir de la metafísica si deseamos salvamos de caer en el punto muerto del solipsismo. Pero, por otra parte, en tanto que cualquier sistema intenta prescindir del extremo metafísico de un lado y del extremo solipsista del otro, debe establecerse algo así como un compromiso con la lógica y, por tanto, presentará ciertos puntos débiles. Es muy posible, de todos modos, construir un sistema sobre la base de esta transacción donde los puntos débiles puedan ser suficientemente fortalecidos para todos los objetos prácticos.

La doctrina de Kant y con ella el conjunto de la filosofía trascendental, desde el idealismo al extremo materialismo, está basada desde sus comienzos sobre fundamentos metafísicos admitidos. En contraposición a esa doctrina, el sistema positivista, fundado por Augusto Comte, se ha mantenido, en sus varias formas, tan libre como ha sido posible de las influencias

metafísicas. Llega a este fin considerando la experiencia de nuestra propia conciencia como la única fuente legítima del conocimiento. De acuerdo a la doctrina positivista, la causalidad no está fundada en la naturaleza de las cosas en sí mismas, sino que es, por decirlo brevemente, una experiencia de la mente humana. Desempeña un importante papel debido principalmente a que se ha mostrado fructífera y útil. Así, la ley de la causalidad es la aplicación de esta experiencia. Como nosotros podemos conocer exactamente lo que hemos descubierto por nuestra propia experiencia, la significación del concepto causal se presenta claramente ante nosotros. Pero, al mismo tiempo, permanece la posibilidad de que pueda haber casos en los que nuestro descubrimiento no es aplicable y que, por tanto, contradice la ley de causalidad. Mientras Kant enseña que el conocimiento sin causalidad es imposible desde su iniciación, ya que la categoría del concepto causal existía ya en la mente humana con anterioridad a cualquier experiencia, el punto de vista positivista es que la mente creadora del hombre ha modelado el concepto causal para su propia conveniencia. Por tanto, no es una cualidad primaria ingénita en la mente. *"El hombre es la medida de todas las cosas"*, decía Protágoras hace largo tiempo. Nosotros podemos retorcernos y transformarnos tal como nosotros queramos, pero jamás seremos capaces de salir de nuestra propia piel. Y cualquiera que sea la tangente por donde podamos escapar hacia el reino de lo absoluto, siempre nos estaremos moviendo alrededor de nuestra propia órbita que ha sido prescripta para nosotros por los límites de la experiencia percibida en nuestra propia conciencia.

Hasta cierto punto no es posible contradecir esta aptitud positivista, aunque desde el punto de vista de la filosofía trascendental puedan hacerse algunas objeciones. Y así, los argumentos y contra argumentos se siguen unos a otros en un intercambio infinito. Para nosotros, el *dénouement* de la historia es la confirmación de nuestra previa convicción, o sea, que la naturaleza y validez universal de la ley de causalidad no pueden ser definitivamente resueltas sobre la base de cualquier razonamiento puramente abstracto. Los puntos de vista trascendental y positivista son inconciliables y así permanecerán en tanto que exista la estirpe de los filósofos. Si al razonamiento puro corresponde la última palabra para tratar tales casos; pocas esperanzas podrá abrigarse de llegar a un juicio satisfactorio del problema causal. Pero la filosofía, después de todo, es tan sólo una rama de la actividad humana en el estudio de los problemas que afectan a la naturaleza y a la humanidad, y donde la filosofía fracasa está perfectamente justificado volverse a la ciencia, y preguntarse si ella no encontrará alguna respuesta satisfactoria.

Ahora, permítasenos preguntamos si las varias ramas de la ciencia están también divididas acerca de esta cuestión de la causalidad, lo mismo que está dividida la filosofía. Desde un principio puede ser objetado que un problema que cae dentro del objeto de la filosofía y que la filosofía es incapaz de resolver no puede ser resuelto dentro de los límites de una ciencia aislada, Esta objeción nace del hecho de que la filosofía proporciona los fundamentos mentales sobre los que la investigación científica reposa. La filosofía debe preceder a todas las ciencias especiales y nosotros iremos en contra del

espíritu de toda nuestra disciplina mental si una de las ciencias especiales quisiera abocarse al estudio de las cuestiones filosóficas generales.

Este argumento ha sido esgrimido muchas veces, pero, en mi opinión, su debilidad radica en que desestima la colaboración que realmente existe entre la filosofía y las diferentes ciencias especiales. Debemos recordar que el punto de partida de toda investigación y el mecanismo mental utilizado para llevarla a cabo son fundamentalmente los mismos tanto en el caso de la filosofía como en el caso de la ciencia. El filósofo no opera con un tipo especial de inteligencia humana que sea especial en sí mismo. La estructura del pensamiento que construye no tiene más bases que las de la experiencia diaria y las opiniones que él se ha formado durante el curso de sus estudios profesionales.

Estos últimos deben corresponder ampliamente a su talento individual y al grado de su desarrollo filosófico personal. En cierto sentido, el filósofo se halla en una posición mucho más elevada que el especialista científico, pues éste limita la observación y la investigación a un campo mucho más restringido de hechos que son sistemáticamente reunidos y exigen un tipo profundo y concentrado de pruebas. Por tanto, el filósofo tiene una mejor visión acerca de las relaciones generales que no interesan de modo inmediato al especialista científico, y que pueden pasar fácilmente desapercibidas para el último.

La diferencia entre las perspectivas y las obras de estos dos tipos de investigación puede ser comparada al caso de dos viajeros que

visitan juntos la misma región. El primer viajero, podríamos decir, está interesado por las características generales del paisaje, por las ondulaciones de las colinas y de los valles, los diversos tipos de bosques y praderas. El segundo viajero se interesa únicamente por la flora y la fauna, o posiblemente tan sólo por los productos minerales de la región. Sus ojos observan los diferentes ejemplares de las primeras o puede seleccionar varias muestras del suelo para examinarlas científicamente con la esperanza de descubrir la presencia de algún mineral valioso. Ahora bien; el primer viajero adquirirá seguramente mejor conocimiento del paisaje como conjunto y podrá comparado con otro. Desde un punto de vista general podrá tener una idea de las cualidades minerales del terreno y del tipo de vida vegetal o animal que lo caracterice, pero sus deducciones son muy relativas y para compararlas y establecer juicio necesita de la opinión de su compañero. Por tanto, la obra de uno es complementaria de la obra del otro. Podrían citarse innumerables ejemplos en que la obra del segundo viajero es absolutamente necesaria para la solución de problemas que han desconcertado al hombre que sólo ha estudiado el aspecto general.

Esta comparación, como cualquier otra, no es muy adecuada. Pero, al menos, muestra que en el caso de un problema definido que la filosofía reconoce como fundamental y cuya solución final es cuestión tan sólo de la filosofía, cuando ésta no puede llegar a una fórmula decisiva por el uso de sus métodos, debe buscar información en las ramas especiales de la ciencia a que se refieran las características particulares del problema en cuestión. Ahora

bien, si la respuesta hallada ha de ser definida y concluyente, debe ser tratada como tal. Es una característica de toda verdadera ciencia que el conocimiento general y objetivo a que ella llegue tenga una validez universal. Por tanto, los resultados definidos que obtenga exigen un reconocimiento ilimitado, Y deben ser siempre considerados como buenos. Los descubrimientos progresivos de la ciencia son definidos y no pueden ser ignorados permanentemente. Esto aparece con claridad en el desarrollo de las ciencias naturales. Mediante la telegrafía sin hilos podemos enviar las noticias que deseemos a las partes más distantes de la Tierra dentro de una fracción infinitesimal de segundo. El hombre moderno puede elevarse en el aire en un aeroplano y transportarse desde una parte del globo a otra a través de valles y montañas, de lagos y océanos. Mediante los rayos X se puede penetrar en las actividades secretas y en las funciones internas de los organismos vivos, y es posible descubrir la situación de los átomos en un cristal.

Estas conquistas objetivas que la ciencia ha conseguido en colaboración con la técnica a que ha dado lugar, deja en la sombra algunos de los grandes descubrimientos de los filósofos de los pasados tiempos y tiene un gesto despectivo para las groseras artes de los hechiceros.

Hay quien cierra sus ojos a estos tangibles resultados y habla del colapso de la ciencia, pero, en general, no hay que tomarse la molestia de refutar esas ideas.

No es necesario presentar pruebas demostrativas de la contribución que a los progresos del conocimiento ha prestado la ciencia. Basta

simplemente tener en cuenta los sucesos que se presentan constantemente ante nuestros ojos. Es suficiente recordar el zumbido del aeroplano que nos sorprende cuando estamos sentados en un jardín, o pensar que con sólo girar un disco escucharemos las voces que proceden de una distancia de millares de kilómetros. La importancia de cualquier esfuerzo humano es y siempre debe ser medida por los resultados obtenidos.

Volvamos ahora al problema particular que nos ocupa y permítasenos admitir por un momento la seguridad y eficacia de los métodos científicos aplicables. Preguntémonos aquí la forma en que la ciencia, en cada una de sus diferentes ramas, enfoca realmente el problema de la causalidad. Hay que recordar que estoy hablando de ciencia especializada como tal y no de los fundamentos filosóficos o epistemológicos sobre los cuales actúa.

¿Debe la ciencia, en efecto, ocuparse exclusivamente de los datos inmediatamente proporcionados por las impresiones sensoriales y de su organización sistemática de acuerdo a las leyes de la razón? ¿O debe, desde el comienzo de sus actividades, ir más allá de los conocimientos proporcionados por esta inmediata fuente y dar un salto hacia la esfera metafísica?

Yo creo que no hay duda respecto a la respuesta. La primera alternativa es desechada, mientras que la segunda debe ser aceptada en el caso de toda ciencia especial. En definitiva, puede decirse que cualquier ciencia individual debe plantear su tarea con la explícita renunciación del punto de vista egocéntrico y antropocéntrico. En los primeros períodos del pensamiento, la

humanidad dirigía su atención exclusivamente a las impresiones recibidas a través de los sentidos, y el hombre primitivo hizo de él mismo y de sus propios intereses el centro de su sistema de razonamientos. Estableciendo una comparación con los poderes de la naturaleza que le circundaba pensó que se trataba de seres animados igual que él, y los dividió en dos clases: unos amistosos, los otros enemigos. Dividió las plantas en las categorías de venenosas y no venenosas. Clasificó los animales en las categorías de peligrosos e inocuos. En tanto que permaneció ligado dentro de los límites de este método de tratar el medio en que vivía, le fue imposible aproximarse al verdadero conocimiento científico. Los primeros progresos en este conocimiento tan sólo tuvieron lugar después de que hizo caso omiso de sus intereses inmediatos borrándolos de su pensamiento. En un período ulterior consiguió abandonar la idea de que el planeta donde vive es el punto central del universo. Entonces tomó la posición más modesta de mantenerse en un segundo término, en todo lo que le fuera posible, para no mezclar sus idiosincrasias y sus ideas personales con sus observaciones de los fenómenos naturales. fue sólo en este período cuando el mundo exterior le comenzó a revelar sus misterios, y al mismo tiempo proporcionó al hombre los medios que él fue capaz de utilizar en su propio servicio, y que jamás hubiera descubierto de haber continuado buscándolos con la linterna de sus propios intereses egocéntricos. El progreso de la ciencia es un excelente ejemplo de la verdad que encierra la paradoja de que el hombre debe perder su alma antes de que pueda encontrarla. Las fuerzas de

la naturaleza, la electricidad, por ejemplo, no han sido descubiertas por individuos que se propusieran desde el primer momento adaptarlas a fines utilitarios. El descubrimiento científico y el conocimiento científico han sido logrados, tan sólo, por aquellos que se han lanzado en su persecución sin ningún objetivo práctico. Los pocos ejemplos que he mencionado lo demuestran claramente. Heinrich Hertz, por ejemplo, jamás soñó con que sus descubrimientos fueran desarrollados por Marconi y finalmente llegaran a integrar un sistema de telegrafía sin hilos. Y Roentgen nunca tuvo la visión de los inmensos beneficios prácticos que en la actualidad se obtienen con la aplicación de los rayos X.

He dicho que el primer paso que da cualquier rama especializada de la ciencia consiste en un salto a la región de la metafísica. Al dar este salto, el científico confía en la firme cualidad del terreno en que se mueve, aunque ningún sistema de razonamiento práctico pueda asegurarle de esto. En otras palabras, los principios fundamentales y los postulados indispensables de toda ciencia realmente productiva no se basan en la lógica pura, sino más bien en las hipótesis metafísicas —que ninguna regla de lógica puede refutar que existen en el mundo exterior, completamente independientes de nosotros. Tan sólo a través del inmediato dictado de nuestra conciencia conocemos que este mundo existe. Y esa conciencia puede, hasta cierto punto, ser denominada un sentido especial. Es posible, incluso, llegar a decir que la existencia del mundo exterior choca contra la conciencia de cada individuo en alguna forma particular. Es como si observáramos algún objeto distante a través

de un par de vidrios que tuvieran un tono de color ligeramente diferente. Esto no debe ser olvidado cuando nos ocupamos científicamente de los fenómenos naturales. La primera y más importante cualidad de todo razonamiento científico debe ser la clara distinción entre el objeto externo que se observa y la naturaleza subjetiva del observador.

Una vez que el hombre de ciencia ha comenzado por dar su salto hacia lo trascendental, jamás discute acerca de este salto, ni se preocupa de él. Cuando se trata de la ciencia no puede avanzar tan rápidamente, y en cualquier caso—y ésta es una consideración de la mayor importancia— tal línea de conducta no puede ser considerada como inconsistente partiendo de fundamentos lógicos.

Sin duda, existe la teoría positivista de que el hombre es la medida de todas las cosas, y esa teoría es irrefutable en tanto que nadie puede objetar, basado en fundamentos lógicos, la acción de un individuo que mide todas las cosas con una norma humana, y resuelve, en definitiva, el conjunto de la creación dentro de un complejo de percepciones sensoriales.

Pero existe también otra medida, que es más importante para ciertos problemas, y que es independiente del método particular y de la naturaleza de la inteligencia que la aplica.

Esta medida es idéntica a la cosa misma. Sin embargo, no es un dato inmediato de la percepción. Pero la ciencia confía en el esfuerzo final para conocer la cosa en sí misma, incluso aunque nos demos cuenta de que esta meta ideal jamás pueda ser alcanzada a pesar de todo nuestro empeño. Sabemos que en todo nuestro recorrido cada

esfuerzo será ricamente premiado. La historia de la ciencia sirve para confirmar nuestra fe en esta verdad.

Una vez aceptada la existencia de un mundo exterior independiente, la ciencia acepta, al mismo tiempo, el principio de la causalidad como un concepto completamente independiente de las percepciones sensoriales. Aplicando este principio al estudio de los fenómenos naturales, la ciencia investiga primeramente hasta qué punto la ley de la relación causal es aplicable a los diversos acontecimientos en el mundo de la naturaleza y en el reino del espíritu humano. La ciencia se encuentra aquí exactamente sobre la misma base que Kant tomó como punto de partida de su teoría del conocimiento. Como en el caso de la filosofía kantiana, así también en el caso de cada rama especial de la ciencia el concepto causal es aceptado desde el principio como correspondiendo a esas categorías sin las cuales no puede realizarse ningún progreso del conocimiento. Pero debemos establecer cierta diferenciación. Kant no sólo tenía en cuenta el concepto de la causalidad, sino también, hasta un cierto grado, la significación de la ley causal por sí misma, como un dato inmediato del conocimiento y, por tanto, de universal validez. La ciencia especializada no puede ir tan lejos. Debe más bien limitarse a la cuestión de averiguar cuál es la significación que la ley de causalidad puede tener en cada caso particular, y así, a través de la investigación, dar significado práctico y valor al vacío armazón del concepto causal.

## Capítulo IV

### Causalidad y libre albedrío la respuesta de la ciencia

Debemos ahora preguntarnos hasta qué punto la ciencia nos puede ayudar a salir de la intrincada selva donde la filosofía ha extraviado su camino. ¿Cuál es la actitud práctica adoptada por las ciencias especiales con respecto a la universal e invariable validez de la ley de causalidad? ¿Debe aceptar la ciencia en sus investigaciones cotidianas el principio de causalidad como un postulado indispensable? ¿Debe actuar suponiendo que no existen escapatorias en el orden de la naturaleza gobernado por la causalidad? O aunque utilice el principio como hipótesis de trabajo, ¿debe la ciencia práctica insinuar que existen en la naturaleza ciertos acontecimientos en que no interviene la ley de causalidad y que hay regiones en la esfera de la mente donde el dictado causal carece de función? En nuestro esfuerzo por encontrar una respuesta definida a estas cuestiones debemos plantearlas para cada una de las varias ramas de la ciencia especializada y en este sentido tenemos que contentarnos con hacer una serie de preguntas breves. ¿Qué tiene la ciencia física que decir respecto a nuestro problema? ¿Cuál es la respuesta de las ciencias biológicas? ¿Qué contestarán las ciencias humanistas como la psicología o la historia?

Comencemos con la más exacta de las ciencias naturales: la física. En la dinámica clásica, dentro de la cual debemos incluir no sólo la mecánica y la teoría de la gravitación sino también el concepto de

electrodinámica de Maxwell-Lorentz, la ley de causalidad ha dado una fórmula que por su exactitud y rigidez debe ser considerada casi como ideal, incluso aunque pueda ser algo unilateral. Se expresa en un sistema de ecuaciones matemáticas según las cuales todos los sucesos en cualquier imagen física dada pueden ser absolutamente predichos si se conocen las condiciones de tiempo y de espacio. Esto es, si se conoce el estado inicial y las influencias que del exterior actúan sobre la imagen. Para plantear el problema de un modo más completo: de acuerdo a la ley de causalidad, tal como se expresa en las ecuaciones de la dinámica clásica, podemos decir dónde una partícula o sistema de partículas en movimiento pueden localizarse en un determinado momento futuro, sabiendo su situación y velocidad actuales y las condiciones bajo las cuales el movimiento tiene lugar. De este modo era posible a la dinámica clásica calcular de antemano todos los procesos naturales en su comportamiento individual, y así predecir el efecto partiendo de la causa. El último progreso importante que la dinámica clásica realizó en nuestros días tuvo lugar merced a la teoría general de la relatividad de Einstein. Esta teoría se halla sólidamente unida a la de la gravitación newtoniana y a la de la ley de inercia de Galileo.

Recientemente se han hecho algunas tentativas para demostrar que la teoría de la relatividad corrobora la actitud positivista, y en cierto sentido es incompatible con la filosofía trascendental. Estos ensayos han fracasado totalmente. Los fundamentos de la teoría de la relatividad no están basados sobre la norma de que todas las dimensiones, tiempo y espacio tienen únicamente una significación

relativa determinada por el sistema de referencia del observador. El fundamento de la teoría de la relatividad yace en el hecho de que en cualquier espacio-tiempo tetradimensional existe una medida, la distancia entre dos puntos que se aproximan hasta el máximo posible. Este es el llamado Tensor o *Massbestimmung*, que para todos los observadores y para todos los sistemas de referencia, tiene el mismo valor autónomo y, por tanto, es de un carácter trascendental completamente independiente de cualquier acción arbitraria de la voluntad humana.

Sin embargo, dentro de este sistema armonizado de física clásico-relativista, la hipótesis de los cuantos ha originado recientemente cierta confusión, y no es posible decir definitivamente qué influencia podrá tener el subsiguiente desarrollo de la hipótesis sobre el enunciado de leyes físicas fundamentales. Algunas modificaciones esenciales parecen ser inevitables, pero creo firmemente, en unión con la mayor parte de los físicos, que la hipótesis de los cuantos encontrará por fin su exacta expresión en ciertas ecuaciones que constituirán una fórmula más exacta de la ley de causalidad.

Aparte de las leyes dinámicas aplicadas a los casos individuales, la ciencia física reconoce también otras leyes, las llamadas estadísticas. Estas últimas expresan con cierto grado de exactitud la probabilidad de que ocurran ciertos hechos, y, por tanto, permiten excepciones en los casos particulares. Un ejemplo clásico es la conducción del calor: si dos cuerpos de diferentes temperaturas se ponen en contacto, de acuerdo a las dos leyes de la termodinámica, la energía calórica pasa siempre desde el más caliente al más frío,

Actualmente conocemos, gracias a los experimentos, que esta ley es tan sólo una probabilidad; pues especialmente cuando la diferencia de temperatura entre los dos cuerpos es excepcionalmente pequeña, puede ocurrir que en éste o aquel punto particular de la zona de contacto, y en un momento dado de tiempo, la propagación del calor tenga lugar en el sentido opuesto, es decir, desde el más frío al más caliente. La segunda ley de la termodinámica, como en el caso de toda ley estadística, tiene una significación exacta únicamente para los valores medios correspondientes a gran número de acontecimientos similares, y no para el suceso en sí mismo. Si consideramos el hecho individual podemos hablar tan sólo de un determinado grado de probabilidad. Este caso es análogo al de un cubo no simétrico que fuera utilizado en el juego de los dados. Supongamos que el centro de gravedad del cubo no se halla en su centro geométrico, sino desviado hacia una de las caras; entonces, es probable, aunque no seguro, que cuando se lance el dado repose sobre la misma cara. Cuanto más pequeña sea la distancia entre el centro de gravedad y el centro simétrico del cubo, tanto más variable será el resultado. Ahora, si nosotros lanzamos el dado gran número de veces y observamos lo que sucede en cada caso, llegaremos a una ley que nos indicará cuántas veces sobre mil, por ejemplo, cae el dado sobre determinada cara.

Volvamos al ejemplo de la conducción del calor, y preguntémonos si la estricta validez de la ley causal, se mantiene para los casos individuales. La respuesta es que así ocurre, pues métodos más minuciosos de investigación han demostrado que lo que nosotros

llamamos propagación del calor de un cuerpo a otro, es un proceso muy complicado que tiene lugar mediante innumerables series de procesos particulares que son independientes unos de otros, y que denominamos movimientos moleculares. La investigación ha demostrado también que si presuponemos la validez de las leyes dinámicas para cada uno de estos fenómenos particulares —esto es, la ley de estricta causalidad— podremos llegar al resultado causal mediante este tipo de observación. En efecto, las leyes estadísticas dependen de la aceptación de la estricta ley de causalidad aplicada en cada caso particular. El hecho de que no se cumpla la regla estadística en los casos particulares no es, pues, debido a que no se cumpla la ley de causalidad, sino más bien a que nuestras observaciones no son suficientemente delicadas y exactas para poder aplicar directamente la ley de causalidad en cada caso. Si nos fuera posible seguir el movimiento de cada molécula en este intrincadísimo laberinto de proceso, veríamos que en todos los casos se cumplen exactamente las leyes dinámicas.

Al hablar de la ciencia física en este aspecto debemos distinguir siempre dos métodos diferentes de investigación: uno es el método macroscópico, que se ocupa del objeto de la investigación de un modo general. El otro es el método microscópico que es más delicado y detallado en sus procedimientos. Sólo para el observador del fenómeno macroscópico —es decir, para el hombre que trabaja con cantidades enormes— esas probabilidades existen en cuanto se refieren a los diversos elementos que constituyen el objeto que el individuo manipula. La amplitud e importancia de los elementos

accidentales depende, como es natural, del grado de conocimiento y de la habilidad del observador. Por otra parte, para el observador del fenómeno microscópico sólo existe una exacta y estricta causalidad. Su subsistencia depende de la cualidad de cada individuo, así como de que trabaje con una cantidad mínima. El investigador que trabaja en gran escala calcula tan sólo valores masas y conoce únicamente leyes estadísticas. El investigador del fenómeno microscópico estima valores individuales y aplica a ellos las leyes dinámicas en su completo significado.

Volvamos al ejemplo del dado a que antes me referí, y supongamos que el fenómeno se considera microscópicamente. Esto significa que junto con la naturaleza del dado mismo —su carácter no simétrico y la exacta situación de su centro de gravedad— consideramos también su posición y velocidad iniciales, la influencia de la mesa sobre su movimiento, la resistencia del aire y cualquier otra peculiaridad que pueda intervenir. Si suponemos que todas estas particularidades pueden ser examinadas minuciosamente, ya no podrá hablarse de azar, pues cada vez podremos calcular el lugar donde el dado se detendrá y conocer la posición en que ha de quedar.

Sin entrar en mayores detalles podemos decir que la ciencia física aplica el método microscópico de la investigación a todos los fenómenos que se refieren a las moléculas y a los átomos. Pero, naturalmente, hay una tendencia a refinar el tratamiento hacia el grado microscópico, y siempre se busca reducir las leyes estadísticas a un sistema dinámico y estrictamente causal. En

consecuencia, puede decirse que la ciencia física, así como la astronomía, la química y la mineralogía, están basadas en la estricta y universal validez del principio de causalidad. En una palabra, ésta es la respuesta que la ciencia física tiene que dar a la pregunta formulada al comienzo de este capítulo.

Dirijámonos ahora a la biología. Aquí las condiciones son mucho más complicadas, pues la biología se ocupa de los seres vivos y la vida ha presentado siempre grandes dificultades para la investigación científica. Como es natural no puedo hablar con especial autoridad en esta rama de la ciencia. Sin embargo, no dudo en afirmar que incluso en problema tan oscuro, como es el problema de la herencia, la biología se aproxima más y más a la explícita aceptación de la validez universal de las relaciones causales. De igual modo que el físico se niega a reconocer en última instancia la intervención del azar en la naturaleza inanimada, así ningún fisiólogo admitirá esa intervención en absoluto sentido, aunque, como es natural, el método microscópico de investigación es mucho más difícil de realizar en la fisiología que en la física. Por esta última razón las leyes fisiológicas; en su mayoría, son de carácter estadístico y se denominan reglas. Cuando se presenta una excepción en la aplicación de estas reglas empíricamente establecidas, no se atribuye a una falla en la relación causal, sino más bien a la carencia de conocimiento y habilidad en la forma en que es aplicada la regla. La biología se resiste a admitir la existencia de las excepciones como tales, y las que parecen serlo son cuidadosamente comparadas y estudiadas hasta que se hace la luz

de las relaciones causal es. Sucede muchas veces que el ulterior estudio de las excepciones muestra interrelaciones hasta entonces desconocidas que arrojan nueva luz sobre las reglas que originalmente presentaban excepciones. Se observa frecuentemente que la relación causal universal es confirmada desde un nuevo punto de vista, y así ha podido hacerse algunos importantes descubrimientos.

¿Cómo puede establecerse una distinción entre lo que es una verdadera relación causal y lo que es una mera coincidencia o sucesión externa entre dos sucesos? La respuesta es que no disponemos de una norma sólida para establecer tal distinción. La ciencia sólo puede aceptar la validez universal de la ley de causalidad, que nos capacita definitivamente para predecir los efectos que siguen a una determinada causa, y en el caso de que el hecho predicho no se produzca, reconoceremos que han intervenido algunos otros factores que no han sido tenidos en cuenta en nuestros cálculos. Una pequeña historia ilustrará lo que acabo de decir. Se refiere a la eficacia de los abonos artificiales en la agricultura.

Si no estoy confundido, esta historia se atribuye a Benjamín Franklin, que no era tan sólo un hombre de estado de primera clase, sino también un investigador muy capaz que realizó descubrimientos en las ciencias naturales. En cierta época se dedicó con gran interés al problema de los abonos artificiales, y demostró claramente la importancia de su desarrollo para la economía práctica. Llevó sus teorías a la experiencia y consiguió resultados

prácticos que estaban de acuerdo con sus ideas científicas. Pero tropezó con grandes dificultades para convencer a sus descreídos vecinos de que la opima cosecha de forraje que veían crecer en el campo de Franklin, era debida al uso de los abonos artificiales. Para el campesino, el forraje era forraje y la tierra, tierra, y sólo había tierras buenas y tierras malas, y buenas y malas condiciones climáticas; éstos eran los únicos factores que ellos consideraban como causa de una buena o de una miserable cosecha. Franklin resolvió convencer a los campesinos de que la mano del hombre puede influir directamente sobre la calidad de las cosechas. En la época de la siembra hizo cavar una serie de pequeños surcos que formaban letras. Llenó estos pequeños surcos con adecuadas cantidades de abonos artificiales, y el resto del campo lo dejó abandonado a la mano de la naturaleza. Cuando creció el forraje, la parte que correspondía a los surcos abonados mostró un desarrollo mucho mayor que el del resto del campo, de modo que quien pasaba podía leer esta frase: *"Esta parte ha sido abonada con yeso"*. La historia no dice si los obstinados campesinos quedaron o no convencidos, pero de cualquier forma nadie puede ser forzado sobre fundamentos puramente lógicos a reconocer la relación causal, ya que esta relación no es lógicamente demostrable. En el caso particular referido introducimos una causa de la cual "fluye" de modo natural el resultado, como los escolásticos acostumbran a decir, y si el resultado está en completo acuerdo con lo que se ha predicho, podemos estar seguros de la relación causal. En el ejemplo del campo de Franklin no es posible otra explicación que la

del abono, y esta explicación, como causa, tiene una conexión natural y exclusiva con el resultado.

Como es natural, puede decirse que la ley de causalidad es, ante todo, una hipótesis. Pero aunque sea una hipótesis no es, al menos, comparable a las restantes, sino que se trata de una hipótesis fundamental, ya que representa el postulado necesario para dar sentido y significación a la aplicación de todas las hipótesis en la investigación científica. Por tanto, cualquier hipótesis que indica una regla definida presupone la validez del principio de causalidad.

Dirijámonos ahora a aquellas ciencias que se ocupan de los fenómenos humanos. En este caso el método que el científico sigue no puede tener la misma exactitud que el utilizado en la física.

El objeto de su estudio es la mente humana y su influencia sobre el curso de los acontecimientos. Su gran dificultad es la escasa cantidad del material de que se dispone.

Mientras el historiador o el sociólogo se esfuerzan por aplicar métodos puramente objetivos a sus líneas de investigación, en el caso referido el investigador se encuentra entorpecido por la carencia de datos con los que sea posible determinar las causas que han conducido a las condiciones generales en el pasado, y que conducen a las condiciones del mundo actual.

Pero, al mismo tiempo tiene, al menos, una ventaja de que el físico carece. El historiador o el sociólogo se ocupan del mismo tipo de actividades que encuentran en sí mismo. La observación subjetiva de su propia naturaleza humana les suministra, al menos, un tosco

medio de apreciación, al ocuparse de otras personalidades o de grupos de personalidades.

Pueden "sentirse dentro" de ellas, y pueden así obtener cierta visión de las características de sus motivos y de sus pensamientos.

Preguntémonos ahora cuál es la actitud del científico humanista para este problema de la causalidad. En las actividades de la mente humana, en el juego de las emociones humanas y en la conducta exterior que deriva de aquéllas ¿existe en todos los casos una rígida interrelación causal? Toda conducta, en última instancia, ¿debe ser atribuida a la actividad causal de las circunstancias, como los acontecimientos pasados o el medio circundante presente, sin dejar lugar a una acción espontánea y absoluta de la voluntad humana? ¿O disponemos, al menos, en oposición a la naturaleza, de cierto grado de libertad o de volición arbitrario en todos los casos en que se desea hacer una elección? Desde tiempo inmemorial esta cuestión ha sido fuente de controversias. Quienes mantienen que la voluntad humana es absolutamente libre en su acto de volición, aceptan que cuanto más nos elevamos en la escala de los seres naturales, tanto menos perceptible es la intervención de la necesidad, y tanto mayor la intervención de la libertad creadora, hasta que finalmente se llega al caso de los seres humanos que gozan de la completa autonomía de la voluntad.

Tal opinión no puede ser considerada como correcta o incorrecta excepto cuando se somete a la prueba de la investigación histórica y psicológica. Y entonces, el problema aparece exactamente en la misma posición que en el caso de las ciencias físicas. En otras

palabras, no podemos conocer hasta qué punto es válido el principio de causalidad de no someterlo a la prueba de la realidad externa. Como es natural, se emplea una diferente terminología cuando los métodos causales son aplicados a las ciencias humanistas. En la ciencia natural, el objeto de la investigación es una determinada imagen física con determinadas características. En la psicología hay que estudiar una personalidad individual definida. Esa personalidad individual ha heredado cualidades como son la conformación corporal, la inteligencia, la capacidad imaginativa, el temperamento, el gusto personal, etc.

Actuando sobre esta personalidad nos encontramos con las influencias psíquicas y físicas del medio, como son el clima, la alimentación, las amistades, la vida familiar, la educación, la lectura, etc. Ahora la cuestión es saber si todos estos factores determinan la conducta de esa personalidad en todas sus particularidades y de acuerdo a leyes definidas; en otras palabras, si nosotros dispusiéramos, cosa imposible en la práctica, de un completo y detallado conocimiento de todos esos factores ¿seríamos capaces de decir con certeza, partiendo de una base causal, cómo la libertad individual actuará un momento más tarde?

Buscando una sólida, lógica y adecuada respuesta a esta pregunta, nos encontraremos en una posición totalmente diferente de aquella en que nos hallamos cuando se trata de las ciencias naturales. Como se comprende, es extraordinariamente difícil dar una respuesta definida a cuestiones como la planteada anteriormente. Se puede tener opiniones y establecer suposiciones y afirmaciones,

pero no todas ellas proporcionan fundamentos lógicos para una respuesta. Sin embargo, pienso que puede afirmarse que la dirección en la cual las ciencias humanistas, como la psicología y la historia, se desarrollan actualmente, proporciona ciertas bases para presumir que a la mencionada cuestión debe responderse afirmativamente. El papel que la fuerza desempeña en la naturaleza, como causa del movimiento, tiene su contrapartida, en la esfera mental, en el motivo como causa de la conducta. Del mismo modo que en todo instante, el movimiento de un cuerpo material resulta necesariamente de la acción combinada de diversas fuerzas, así también la conducta humana es la resultante obligada del juego de motivos recíprocamente reforzados o contradictorios, que en parte en la conciencia y en parte también en la esfera inconsciente desenvuelven su acción conduciendo a un resultado.

Cierto es que algunos actos realizados por los seres humanos parecen ser inexplicables. A veces, constituye un enigma extraordinariamente difícil encontrar fundamentos razonables para ciertos actos, en tanto que otros parecen ser completamente disparatados y sin causa.

Más consideremos, por un momento, lo que piensan de esos actos un psicólogo capacitado y el hombre vulgar de la calle. Lo que es completamente enigmático para el último es muchas veces absolutamente claro para el primero. Por tanto, si nosotros podemos estudiar los actos de los seres humanos de un modo íntimo, encontraremos que pueden ser explicados por causas que yacen en el carácter, en la tensión emocional momentánea, o en el medio

exterior específico. En aquellos casos en que es extraordinariamente difícil descubrir estas causas aclaratorias, al menos tendremos fundamentos para aceptar que si no encontramos un motivo que nos dé la explicación, ello debe atribuirse no a la ausencia de éste sino más bien a la insuficiente naturaleza de nuestro conocimiento acerca de la peculiaridad de la situación. Nos encontramos ante un caso igual al del dado asimétrico.

Conocemos que la posición en que el dado cae es el resultado de todos los factores que actúan al arrojado, pero cuando esta operación se realiza una sola vez, no alcanzamos a descubrir la estricta función de la causalidad. Y así, incluso aunque el motivo de una cierta línea de la conducta humana pueda muchas veces yacer oculto, la conducta totalmente inmotivada es científicamente incompatible con los principios sobre los que se basa la ciencia mental, lo mismo que la aceptación del azar absoluto en la naturaleza inorgánica es incompatible con el principio de las ciencias físicas.

Sin embargo, la conducta no está simplemente condicionada por los motivos que conducen a ella. Cada acto tiene también una influencia causal sobre el comportamiento subsiguiente.

Así, en el intercambio de motivos y conducta tenemos una cadena sin fin de acontecimientos que siguen uno a otro en la vida espiritual, y en esa cadena cada eslabón está ligado por una relación estrictamente causal no sólo con el eslabón precedente, sino también con el que le sigue.

Se ha realizado ensayos para encontrar la forma de liberar esos eslabones de la cadena causal. Hermann Lotze, en abierta contradicción con Kant, sugiere que tal cadena causal puede no tener fin aunque tenga un comienzo. En otras palabras, que se presentan circunstancias en las cuales los motivos aparecen completamente independientes, no originados por una influencia anterior, de modo que la conducta a la cual esos motivos llevan será el primer eslabón de una nueva cadena. Tal interpretación, mantiene Lotze, debe ser dada especialmente a los actos de aquellos espíritus selectos que son denominados genios creadores.

Incluso aunque no hagamos cuestión de la posibilidad de que tales casos ocurran en el mundo de la realidad, podemos razonablemente responder que la investigación científica que ha sido realizada en la región de la psicología podría haber puntualizado tal posibilidad.

Pero, en tanto que la investigación psicológica no lo demuestre, no habrá signo alguno que pueda servir de punto de partida para la teoría del llamado comienzo libre. Por el contrario, cuanto más profundamente han penetrado las investigaciones científicas en las peculiaridades que han caracterizado incluso los grandes movimientos espirituales de la historia del mundo, tanto más claramente ha surgido la relación causal.

La dependencia de cada suceso del hecho precedente y los factores preparatorios graduales comienzan a aparecer bajo la poderosa luz de la investigación científica, y garantizan la opinión de que actualmente el procedimiento científico en psicología está fundado prácticamente de un modo exclusivo sobre el principio de las

interrelaciones causales y la aceptación de una ley activa de causalidad que no permite excepciones. Esto significa que el postulado del determinismo total es aceptado como una condición necesaria para el progreso de la investigación psicológica.

En estas circunstancias es natural que no podamos trazar unos límites definidos, y decir: hasta aquí se llega y nada más que hasta aquí. El principio de causalidad debe extenderse incluso a las más elevadas conquistas del alma humana. Debemos admitir que la mente de nuestros más grandes genios —Aristóteles, Kant o Leonardo, Goethe o Beethoven, Dante o Shakespeare— incluso en el momento de sus más elevados vuelos del pensamiento o en las más profundas e internas meditaciones de su alma, ha estado sometida al *fiat* causal, y ha sido un instrumento en las manos de una ley todopoderosa que gobierna el mundo.

El lector medio quedará sorprendido por tales juicios. Puede parecer depresivo hablar así de las proezas creadoras de los más elevados y más nobles pensadores de la humanidad. Pero, por otra parte, hay que recordar que tan sólo somos comunes mortales, y que jamás podemos esperar hallarnos en una situación que nos permita perseguir el delicado juego de causa y circunstancia en el alma del genio. No hay nada depresivo al decir que están sometidas a la ley de causa y efecto, aunque podría serlo, como es natural, si ello fuera interpretado en el sentido de que el mortal ordinario es capaz de perseguir la actuación de esa ley en el caso de almas supremamente dotadas. Nadie podría considerar irreverente a quien dijera que algunas inteligencias sobrehumanas pueden comprender

a Goethe o a Shakespeare. Todo el problema yace en la imperfección o en la insuficiencia del observador. Del mismo modo, el físico macroscópico es completamente incapaz de descubrir los mecanismos microscópicos en los fenómenos naturales; pero, como hemos visto, esto no significa que la ley de causalidad no sea válida para esos fenómenos microscópicos.

Podríamos ahora preguntarnos: ¿qué sentido tiene hablar de relaciones causales definidas que se refieren a casos donde nadie en el mundo es capaz de trazar su función?

La respuesta a esta pregunta es bastante fácil. Como hemos dicho repetidas veces, el concepto de causalidad es algo trascendental, completamente independiente de la naturaleza del investigador, e incluso puede ser válido cuando no exista sujeto perceptor.

Teniendo en cuenta cuanto vamos a decir aparecerá más claramente la significación interna del concepto causal.

En el momento actual de tiempo y espacio, es muy posible que la inteligencia humana que nosotros conocemos no sea el tipo más elevado que existe. Más elevadas inteligencias pueden existir en otros lugares o aparecer en otras épocas. Y el nivel intelectual de esos seres puede estar tan por encima de nosotros como nosotros lo estamos de los protozoos.

Puede, pues, ocurrir que ante los penetrantes ojos de tales inteligencias, incluso los momentos más fluctuantes del pensamiento mortal, así como las más delicadas vibraciones de las células del cerebro humano, puedan ser seguidas en cada caso, y que la labor creadora de nuestros genios mortales sea considerada

por dichos seres como inteligencia sometida a leyes inalterables, lo mismo que el telescopio del astrónomo sigue los trayectos de los diversos movimientos de los cuerpos celestes. Aquí, como en cualquier otro caso, debemos diferenciar entre la validez del principio causal y la posibilidad de su aplicación. En todas las circunstancias la ley de causalidad es válida debido a su carácter trascendental. Pero así como su aplicación únicamente puede ser realizada detalladamente por el observador de los fenómenos microscópicos de las ciencias naturales, así también en la región de la mente humana, la ley únicamente puede ser aplicada por una inteligencia que sea muy superior al objeto de la investigación. Cuanto más pequeña sea la distancia entre el investigador y el objeto, tanto más incierto y falible será el tratamiento causal científico.

Todo el problema yace en la dificultad, en la imposibilidad con que nos enfrentamos al intentar comprender la conducta de un genio desde el punto de vista de la causalidad.

Incluso un espíritu gemelo tendrá que contentarse, en tales casos, con presunciones y analogías, pero para los cerebros tipo medio el genio permanecerá siempre como un libro cerrado bajo siete llaves.

La conclusión, por tanto, es que los tipos más elevados de inteligencia humana están sometidos a la ley causal en el proceso que se plasma en sus más grandes conquistas. Esta es la primera parte de nuestra conclusión. La segunda parte es que, en principio, debemos tener en cuenta la posibilidad de que llegue un día en que el más profundo y refinado desarrollo de la investigación científica

sea capaz de comprender el trabajo mental en sus relaciones causales no sólo de los mortales ordinarios, sino también de los genios humanos más elevados. Como el pensamiento científico es idéntico al pensamiento causal, la meta definitiva de toda ciencia es la completa aplicación del principio causal al objeto de la investigación. De todo cuanto hemos dicho, ¿qué conclusión podemos deducir respecto al libre albedrío?

En medio de un mundo donde el principio de la causalidad prevalece universalmente, ¿qué espacio queda para la autonomía de la volición humana? Esta es una cuestión muy importante, especialmente en la actualidad, debido a la difundida e injustificada tendencia de extender los dogmas del determinismo científico a la conducta humana, y así descargar la responsabilidad de los hombros del individuo. Tenemos un ejemplo de esto en algunos modernos intérpretes del desarrollo histórico quienes mantienen que el destino de un grupo de individuos que forman una nación o una civilización está determinado por la ciega suerte. Por tanto, en último análisis, la responsabilidad de tal destino no debe gravitar sobre el individuo. Esta actitud ¿es una deducción legítima de lo que yo he dicho? En otras palabras, entre la seriación causal que se observa en los fenómenos naturales ¿hay algún espacio para el libre y responsable acto de la voluntad del individuo?

Antes de responder a esta pregunta debo puntualizar una notable característica de la vida cotidiana que nos ayudará a tomar una decisión. Aunque el azar y el milagro, en absoluto sentido, están excluidos de la ciencia, ésta se enfrenta ahora, quizá aún más que

antes, con una extendida creencia en el milagro y en la magia. Tal creencia, que ha sido tan universal en las primeras épocas, se ha repetido en innumerables formas al transcurrir los siglos. Esto significa que la ciencia ha sido llamada muchas veces a dar la explicación causal científica de hechos que son popularmente interpretados a la luz de alguna creencia.

La creencia en el milagro es un elemento muy importante en la historia de la cultura de la especie humana. Ha dado lugar a innumerables beneficios y ha impulsado a nobles hombres a realizar las hazañas más heroicas, pero cuando ha degenerado en fanatismos ha sido la causa de múltiples males.

Ante los notables progresos de la ciencia física durante nuestra época, y ante la universal extensión de sus beneficios entre las naciones civilizadas, podemos naturalmente aceptar que una de las más grandes conquistas de la ciencia ha sido limitar la creencia en el milagro; sin embargo, no parece que haya sido así. La tendencia a creer en el poder de los agentes misteriosos es una sobresaliente característica de nuestros días. Así lo demuestra la popularidad del ocultismo y del espiritismo con sus innumerables variantes. Aunque los extraordinarios resultados de la ciencia son tan patentes que no pueden escapar a los ojos del individuo menos observador, las gentes educadas, lo mismo que las ineducadas, se dirigen muchas veces a la oscura región del misterio para explicar los problemas ordinarios de la vida. Puede esperarse que al fin vuelvan los ojos a la ciencia; probablemente las que así hagan estarán más intensamente interesadas por ella y serán en mayor número que las

que en épocas anteriores pensaban de esa forma; pero aun se observa que el poder de atracción de sistemas basados en lo irracional es al menos tan fuerte y está tan extendido como antes, si es que no lo está más. La liga monista que se formó hace algunos años con tanto *éclat* y tantas promesas, con el objeto de establecer un esquema del mundo basado sobre fundamentos puramente científicos, no ha conseguido ciertamente el triunfo que han logrado los sistemas rivales.

¿Cómo puede ser explicado este hecho tan peculiar? ¿Existe, en último análisis, alguna base sólidamente establecida para esta creencia en el milagro sin que importe las disparatadas e ilógicas formas externas que pueda tomar? ¿Existe alguna cosa en la naturaleza del hombre, algún reino interno que la ciencia no llega a alcanzar? ¿Es que cuando nos aproximamos a las fuentes internas de la acción humana la ciencia no puede decir la última palabra? O, para hablar más concretamente, ¿existe un punto en el cual la línea causal del pensamiento cesa siéndole imposible a la ciencia ir más allá?

Esto nos lleva al núcleo del problema referente al libre albedrío, y pienso que la respuesta se encontrará automáticamente a la luz de las preguntas que he planteado.

El hecho es que aquí hay un punto, un solo punto en el inconmensurable mundo de la mente y la materia, donde la ciencia y, por tanto, todo método causal de investigación es inaplicable no sólo sobre bases prácticas sino también sobre bases lógicas, y permanecerá siempre inaplicable. Este punto es el ego individual.

Es un pequeño punto en el reino universal del ser; pero en sí mismo es un mundo completo que abraza nuestra vida emocional, nuestra voluntad y nuestro pensamiento. Este reino del ego es la fuente de nuestro más profundo sufrimiento y, al mismo tiempo, de nuestra más elevada felicidad. Sobre este reino ningún poder externo del destino puede tener dominio, Y solamente cuando damos de lado a la vida misma perdemos nuestro propio control y la responsabilidad de nosotros mismos.

Sin embargo, existe un camino para poder aplicar el método causal dentro de los límites de este reino interno. En principio no hay razón alguna para que el individuo no se haga a sí mismo observador de lo que sucede dentro de él. En otras palabras, puede remontarse a las experiencias por las cuales ha pasado, y esforzarse en unir las en sus relaciones causales. No hay razón, finalmente, al menos en principio, para que no analice cada experiencia —con lo cual quiero significar las decisiones y línea de conducta que ha tomado— y la estudie con el objeto de descubrir la causa de la cual es el resultado. Como se comprende, esto es una tarea extraordinariamente difícil, pero es el único camino verdaderamente científico de examinar nuestra propia vida. Al llevar a la práctica este plan, los hechos de nuestras propias vidas, que ahora van a ser sometidos al examen, pueden estar tan distanciados en el pasado que nuestro complejo presente de emociones e inclinaciones no intervenga como factor en la observación. Si fuera posible llevar a cabo dicho plan, cada experiencia por la que hemos pasado nos haría mucho más inteligentes de lo que éramos antes, tan

inteligentes que, en relación a nuestra primitiva condición, nos elevaríamos al nivel de la super inteligencia postulada por Laplace. Se recordará que Laplace mantenía que si hubiera una super inteligencia situada completamente fuera de los hechos que ocurren en el universo, esa inteligencia sería capaz de ver las relaciones causales en todos los fenómenos del mundo del hombre y de la naturaleza, por muy intrincados y microscópicos que fueran.

Únicamente aspirando a ese tipo de distanciamiento, el individuo podría establecer la separación necesaria entre el sujeto perceptor y el objeto de su investigación, que nosotros hemos considerado como condición indispensable para la aplicación del método causal en la investigación. Cuanto más cercanos nos hallamos a los sucesos de nuestra personal experiencia, tanto más difícil nos será el estudio de nosotros mismos a la luz de esos sucesos. Como las actividades del observador son parcialmente el objeto de la investigación, resulta prácticamente imposible establecer la conexión causal. No estoy pronunciando un sermón moral ni sugiriendo cuáles deben ser las aspiraciones para elevar moralmente nuestro propio ser. Me limito a tratar el caso de la libertad individual desde el punto de vista de su coherencia lógica con el principio de causalidad, y estoy diciendo que en principio no hay razón que nos impida descubrir las conexiones causales en nuestra propia conducta personal, aunque en la práctica jamás lo logremos, ya que esto significaría que el sujeto observador podría ser también el objeto de la investigación. Esto es imposible, pues no hay ojos que puedan verse a sí mismos. Pero en tanto que ningún hombre es actualmente lo que era hace

algunos años, puede ser objeto en cierto grado de su propia experiencia en el escudriñamiento de las causas. Hago mención de esto como un hecho ilustrativo del principio general.

Podrá ocurrir que algunos lectores se pregunten si en relación con la cadena de la causalidad, la libertad de la voluntad individual es tan sólo aparente y se debe a los defectos de nuestra propia comprensión. Esta forma de plantear el caso es, estoy convencido de ello, completamente errónea. Podemos explicar este error diciendo que es comparable al que se cometería si afirmáramos que la incapacidad de un corredor para alcanzar su propia sombra es debida a su falta de velocidad. El hecho de que el individuo no pueda ser sometido a la ley de causalidad con respecto a sus propios actos de la vida presente, es una verdad que está basada sobre un fundamento perfectamente lógico de tipo apriorístico, como el axioma que dice que la parte nunca es mayor que el todo.

La imposibilidad de que el individuo contemple sus propias actividades a la luz del principio causal debe admitirse aun en el caso de la super inteligencia de que nos habla Laplace. Aunque esta super inteligencia fuera capaz de analizar la estructura causal en las conquistas de los genios más eminentes de la especie humana, esa misma super inteligencia tendría que renunciar a la idea de estudiar las actividades de su propio ego en el momento que contempla las actividades de nuestro ego mortal. Si existe una Suprema Sabiduría cuya celestial naturaleza está infinitamente por encima de nosotros, y que puede ver todos los repliegues de nuestro cerebro y oír los latidos del humano corazón, es natural que esa

Suprema Sabiduría podría ver la sucesión de causa a efecto en todo lo que hacemos. Pero, en último término, esto no debe invalidar el sentido de responsabilidad para nuestras propias acciones. Desde este punto de vista estamos en un pie de igualdad con los santos y confesores de las más sublimes religiones. Posiblemente no podemos estudiar en el momento de los preparativos de una determinada actividad. Este es el lugar donde la libertad de la voluntad llega y se establece sin usurpar el derecho de cualquier rival. Al emanciparse así, estamos en libertad para construir un fundamento milagroso, que nos satisfaga, en el misterioso reino de nuestro propio ser interno, incluso aunque en el mundo podamos ser los más estrictos científicos y los más estrictos defensores del principio del determinismo causal.

De esta autarquía del ego surge la creencia en los milagros, y a ella se debe la extendida creencia en las explicaciones irracionales de la vida. La existencia de esa creencia frente al progreso científico es una prueba de la inviolabilidad del ego por la ley de causalidad, en el sentido que he mencionado. El problema puede plantearse de otro modo, y decir que la libertad del ego en todos los casos, y su independencia de la cadena causal, es una verdad que surge del inmediato dictado de la conciencia humana.

Y lo que se considera admisible para el momento actual de nuestro ser, lo será también para nuestra futura conducta, en la cual las influencias de nuestro presente ego desempeñan una parte. El camino del futuro parte siempre del presente. Es, en todo caso, parte y parcela del ego. Por esta razón el individuo jamás puede

considerar su propio futuro pura y exclusivamente desde el punto de vista causal. He aquí por qué la fantasía desempeña gran papel en la construcción del futuro. El reconocimiento de esta profunda verdad lo vemos en el hecho de que las gentes recurran al quiromántico o al vidente para satisfacer la curiosidad individual acerca de su futuro. Sobre este hecho se basan también sueños e ideales, y en él encuentra el ser humano una de las más ricas fuentes de inspiración.

De pasada mencionaré que la imposibilidad práctica de aplicar la ley de causalidad se extiende más allá de lo individual. Se extiende a nuestras relaciones con el prójimo.

Formamos demasiada parte de su vida para hallarnos en situación de estudiarlo desde el punto de vista de los motivos, o sea, desde el punto de vista causal. Ningún ser humano ordinario puede colocarse en la posición de la super inteligencia imaginada por Laplace, y considerarse a sí mismo capaz de descubrir todas las fuentes internas de acción de las cuales se origina la conducta de los semejantes. Por otra parte, sin embargo, mencionaré nuevamente una fase de la aplicación causal que corresponde a aquella de que he hablado antes en relación a la capacidad del individuo para observar científicamente su propia experiencia pasada. Hasta cierto grado es posible estudiar los motivos que mueven a actuar a las otras gentes, lo mismo que son estudiados por el psicólogo o el alienista. En todos estos casos existe, hasta cierto punto, la distancia requerida entre el investigador y el objeto de su investigación. Por tanto, al realizar esta extensión, no hay una

incoherencia lógica en la idea de una persona que estudia las actividades de su prójimo. En realidad; todo el que desea influir sobre otros, obra así en la vida cotidiana, y éste es el secreto del triunfo de los políticos. Es también el secreto de la capacidad para impulsar al bien que algunas gentes poseen en relación a sus semejantes. La mayor parte de nosotros recordamos desde la infancia personas de las que hemos huido debido a una especie de sentimiento innato de inseguridad en su presencia, y, por otra parte, muchos de nosotros creemos recordar a algunos parientes ante cuya presencia éramos dóciles, pues sentíamos cierta reverencia para ellos. Y a todo el mundo le es más o menos familiar el sentimiento de repulsa que se experimenta ante la presencia de una persona de la cual se sospecha que ve con extraordinaria claridad dentro de las vidas internas de los demás. Todas estas reacciones inmediatas son testigos de una especie de instintivo reconocimiento de que nuestras propias vidas están, en último análisis, sometidas a la causalidad, aunque el ego, en lo que se refiere a su inmediato destino, no puede estar sujeto a dicha ley.

La ciencia nos conduce así al umbral del ego, y allí nos abandona a nuestros propios recursos; es decir, nos entrega a los cuidados de otras manos. En la conducta de nuestra propia vida, el principio causal es de pequeña ayuda, pues por la férrea ley de consecuencia lógica quedamos excluidos de poder establecer los fundamentos causales de nuestro propio futuro o prever ese futuro como resultado definido del presente.

Pero la humanidad necesita postulados fundamentales para la conducta de la existencia cotidiana, y esta necesidad es mucho más imperiosa que el hambre de conocimientos científicos. Un simple hecho, muchas veces tiene más significación para un ser humano del que pueda tener toda la sabiduría del mundo. Por tanto, debe haber otra fuente de conducta que el simple apresto intelectual. La ley de causalidad es la que proporciona la norma de conducta de la ciencia, pero el Imperativo Categórico —esto es, el dictado del deber— es la norma de conducta de la vida. Aquí la inteligencia tiene que dejar lugar al carácter, y el conocimiento científico a la creencia religiosa. Y cuando digo creencia religiosa tomo la palabra en su sentido fundamental. Esto nos lleva al discutido problema de las relaciones entre la religión y la ciencia. No es éste el lugar ni entra dentro de mi competencia ocuparme de esta cuestión. La religión pertenece a ese reino que es inviolable para la ley de causalidad, y, por tanto, cerrado para la ciencia. El científico, como tal, debe reconocer el valor de la religión como tal, sin importarle cuáles puedan ser sus formas en tanto que no cometa el error de oponer sus propios dogmas a la ley fundamental sobre la que la investigación científica está basada: la secuencia de causa a efecto en todos los fenómenos externos. Por lo que se refiere al problema de las relaciones entre la religión y la ciencia, puedo decir también que aquellas formas de religión que toman una actitud nihilista para la vida están en desarmonía con los conceptos de la ciencia y en contradicción con sus principios. Toda negativa del valor de la vida por sí misma y para su propio provecho es una negativa del

mundo del pensamiento humano, y, por tanto, en último análisis, una negativa de los verdaderos fundamentos no sólo de la ciencia, sino también de la religión. Pienso que la mayor parte de los científicos estarán conformes y alzarán sus manos contra el nihilismo religioso destructor de la ciencia misma.

Jamás puede haber una verdadera oposición entre la religión y la ciencia, pues una es el complemento de la otra. Toda persona seria y reflexiva se da cuenta, por lo menos así lo creo, de que el elemento religioso en su naturaleza debe ser reconocido y cultivado, y todos los poderes del alma humana tienen que actuar conjuntamente en perfecto equilibrio y armonía. No fue precisamente por el azar que los grandes pensadores de todas las edades hayan sido también almas profundamente religiosas, aun cuando no hayan hecho pública confesión de sus sentimientos religiosos. De la cooperación, de la comprensión con la voluntad ha surgido el fruto más delicado de la filosofía, el fruto ético. La ciencia enaltece los valores morales de la vida, pues es, además, amor a la verdad y respeto. Amor a la verdad que se despliega en el constante esfuerzo por llegar a un más exacto conocimiento del mundo del espíritu y de la materia que nos rodea, y respeto, pues todo avance en nuestros conocimientos nos pone cara a cara como el misterio de nuestro propio ser.

## Capítulo V

### Desde lo relativo a lo absoluto

Espero que el lector no se alarmará por la sonoridad de este título. Podría haber usado otra terminología si hubiera encontrado una más adecuada para mi propósito. Pero el título mencionado es el más expresivo que he podido hallar para indicar un rasgo sobresaliente del desarrollo científico que deseo describir en este lugar. Este rasgo ha sido notable característica de la ciencia física durante el pasado siglo. La línea del progreso ha ido desde lo relativo a lo absoluto. No tenemos por qué detenemos a discutir aquí las diversas significaciones que se ha dado a esas palabras en las discusiones científicas y semi científicas. Las empleo aquí con la misma significación con que las usa el hombre vulgar en la vida cotidiana. Y esa significación resultará más claramente corporizándola con hechos en los que tales expresiones sean aplicables.

Comencemos por la descripción de uno de los conceptos más elementales de la química: los pesos atómicos. La idea del átomo data de la época de los filósofos griegos, y, realmente, la palabra misma en griego significa lo que no puede ser dividido. El arte de determinar los pesos atómicos, sin embargo, data del descubrimiento de un principio fundamental en estequiometría. Esta palabra es también griega: es el nombre que se da a la ciencia de determinar los elementos químicos. Ahora el principio estequiométrico al cual yo me he referido, es que todos los

compuestos resultan de relaciones definidas entre el peso de los elementos que forman un cuerpo compuesto. Por ejemplo, un gramo de hidrógeno se une con 8 gramos de oxígeno para formar agua. Y si un gramo de hidrógeno se une con 35.5 gramos de cloro, el compuesto resultante será ácido clorhídrico. Si consideramos al gramo de hidrógeno como la unidad de medida, diremos que 8 gramos es el peso equivalente del oxígeno y 35.5 el peso equivalente del cloro y así, para cualquier elemento químico en cualquier compuesto que pueda formar con otro elemento, podemos hallar su peso equivalente. Como es natural, la medida está basada en la elección del hidrógeno como unidad, y en ese sentido tal unidad es arbitraria. Sin embargo, este principio no es siempre verdadero. Su validez está limitada a aquellos elementos especiales con que se combina el hidrógeno para formar un compuesto. El peso equivalente de oxígeno 8 es válido únicamente en su relación con el agua. Si en lugar de agua se trata de peróxido de hidrógeno (agua oxigenada), el peso equivalente del oxígeno será 16. En principio, no hay razón alguna para preferir una u otra de esas cifras. Hablando en términos generales, todo elemento posee un peso equivalente variable. En principio tiene tantos pesos equivalentes como combinaciones pueda formar. Si hubiera un elemento que no interviniera en ninguna combinación conocida, no habría un término de referencia para conocer su peso equivalente. Ahora bien, el hecho más interesante es que en las diferentes combinaciones en que se une un elemento con otro para formar un compuesto, tal elemento se hallará siempre en relación con los restantes de

acuerdo a su peso equivalente o al simple múltiplo de él. Este hecho, que se denomina ley de las proporciones múltiples, se enuncia diciendo que cuando dos elementos se combinan en diferentes proporciones, las cantidades de A, que se combinan con una cantidad definida de B, son múltiplos unas de las otras. Así, una cantidad de cloro que tenga el peso equivalente de 35,5 no sólo se combina con un gramo de hidrógeno, para formar ácido clorhídrico, sino también con 8 gramos de oxígeno para formar óxido de cloro. Por tanto, existen números claves que pueden ser usados siempre para señalar las proporciones de los diversos elementos presentes en los distintos compuestos. Para decirlo claramente: en todo compuesto, el peso proporcional de cada elemento puede ser representado por un número fijo o por este número multiplicado por 2, 3, 4, 5, etcétera. A no ser que atribuyamos a alguna ley inconcebible del azar este extraordinariamente simple y regular esquema, en el que se disponen los diferentes compuestos, tenemos que admitir que la idea del peso equivalente debe ser considerada como teniendo una significación independiente, sin considerar el tipo de compuesto que el elemento puede formar con otros elementos. Por tanto, en cierto sentido, este peso equivalente debe ser considerado como algo absoluto.

Tal es lo que sucede en el mundo real de los hechos. Pero una dificultad que permaneció largo tiempo sin solución en la química, surgió del hecho de que algunos elementos no son constantes en su valencia, sino que pueden combinarse con otros elementos en

diferentes relaciones, tal como ocurre con el hidrógeno y el oxígeno, de tal modo que es posible considerar las cifras 8 y 16 como indicadores del peso equivalente del oxígeno. La dificultad no podía ser vencida hasta que se introdujera una nueva idea extraña a la estequiometría. Esta idea está contenida en la ley de Avogadro, que se funda sobre el hecho descubierto por Gay Lussac de que dos elementos en estado gaseoso se combinan entre sí no sólo en definida relación de pesos, sino también en definida relación de volúmenes, a igualdad de condiciones de presión y temperatura. La ley de Avogadro dice que a volúmenes iguales, los diferentes gases, a las mismas temperatura y presión, contienen el mismo número de moléculas. Es decir, el volumen de una molécula gramo es constante para todos los gases. Por tanto, de los diferentes pesos equivalentes que pueden ser asignados para cada elemento, es posible elegir un peso definido que se denomina el peso molecular, pues el peso molecular de dos gases se sabe que se halla en relación constante a sus densidades. Aquí ya no interviene una reacción química sino únicamente una sustancia química. Por tanto, la regla podrá ser aplicada a elementos que sean gases perfectos, los cuales es difícil o imposible que se combinen con otras sustancias. De acuerdo a la ley de Avogadro las moléculas de los elementos químicos forman muchas veces parte de las moléculas de la combinación no con su peso completo sino sólo con una fracción de él. Por ejemplo, la molécula de vapor de agua está compuesta de una molécula de hidrógeno y de media molécula de oxígeno, mientras que la molécula de ácido clorhídrico está compuesta por

media molécula de hidrógeno y media molécula de cloro. Por tanto, partiendo del peso molecular llegamos al peso atómico de un cuerpo como la más pequeña fracción que se encuentra en una combinación del elemento. Este peso atómico expresa los pesos relativos de cada elemento.

Aunque en la ley de Avogadro el concepto de peso atómico tiene cierta significación absoluta, posee al mismo tiempo una connotación relativa. El peso atómico de Avogadro es únicamente un número relativo. Por tanto, no puede ser determinado si no es refiriéndolo arbitrariamente al peso atómico de algún otro elemento especial, como el hidrógeno = 1 ó el oxígeno = 16. De no establecer esa diferencia, el número que expresa el peso atómico carece de significación. De aquí que durante largo tiempo haya sido una aspiración de los químicos liberar el concepto de peso atómico de esta restricción, e intentar darle una más amplia y absoluta significación. Este problema, sin embargo, no es muy importante para el químico práctico, ya que en los análisis químicos de las sustancias existe siempre el problema de las proporciones relativas entre los elementos que se combinan.

En todas las ciencias suele suceder que surja un conflicto entre dos tipos de individuos que yo podría designar con los nombres de puristas y pragmáticos. Los primeros afirman siempre que hay una perfecta coordinación entre los axiomas aceptados de su ciencia, sometiéndolos a un análisis cada vez más rígido con el propósito de eliminar todo elemento accidental y extraño. Por su parte, los pragmáticos intentan ampliar los principios originariamente

aceptados mediante la introducción de nuevas ideas, y así envían tentáculos en todas direcciones con el propósito de realizar progresos. No paran mientes en que el mestizo se aparee con el pura sangre, con tal de que algo pueda surgir de la combinación.

En la ciencia de la química hay también puristas que se enfrentan contra cualquier intento de hacer del concepto de peso atómico algo más que un simple número relativo. Pero hay también químicos eminentes que al menos consideran práctico tratar la idea atómica como se trata la física mecánica, es decir, considerar los átomos como partículas diminutas e independientes con dimensiones definidas y medibles en la molécula y que están divididos o reagrupados de acuerdo con los cambios químicos que sufra aquélla. Durante mi época de Múnich, en el comienzo del año 1880, recuerdo haber quedado muy impresionado por la polémica que por aquel entonces se desencadenó en la Universidad. Entre los químicos puritanos el leader era Rermann Kolbe, de Leipzig, que lanzaba su sagrado anatema contra la interpretación atómico mecánica que llevaba envuelta la construcción de las fórmulas químicas en la constitución de diversas substancias. Cuando los resultados obtenidos por ese proceso eran algo lentos, sus imprecaciones contra el principio adoptado se hacían más violentas. En esas circunstancias, von Bayer hizo la cosa más sabia que podía hacerse, mantuvo su silencio y esperó los resultados hasta que finalmente el triunfo coronó sus esfuerzos.

Algo similar se reprodujo recientemente cuando surgió la controversia acerca del modelo de átomo sugerido por Niels Bohr,

que en realidad exige mucho mayores concesiones por parte de los teóricos ortodoxos que las primeras hipótesis de la estructura atómica de los elementos químicos.

Del lado de los filósofos existen también puristas que han mantenido largo tiempo una actitud de oposición contra la teoría atómica. Ernst Mach fue el más notable leader de esta escuela. Durante su vida esgrimió constantemente el arma del análisis conceptual, y algunas veces también la ironía con el propósito de desacreditar las más bien ingenuas y rudimentarias ideas de aquellos que por entonces defendían el principio atómico. Creía que el renacimiento de la vieja doctrina atómica, vestida en una forma moderna, significaba un retroceso que dificultaba, más que favorecía, el desarrollo filosófico de la física moderna.

Ludwig Boltzmann, como representante significado de los físicos atómicos, se esforzó audazmente para mantener sus fundamentos frente a Mach, pero la pugna no le era favorable, ya que el purista esgrimía las armas de la lógica. El purista basa su posición sobre las deducciones lógicas de los principios aceptados de las ciencias, mientras que el científico pragmático pisa nuevos terrenos, y para abrirse nuevos caminos debe apartarse de la línea lógica de las viejas ideas.

El pragmático debe enfrentarse con fracasos y más fracasos, y siempre está expuesto a la clásica réplica de los ortodoxos: "Esto es así". Los puritanos se oponen a la introducción de nuevas ideas y teoremas tomados de fuentes extrañas, especialmente cuando todavía están en un período en que no han producido resultados en

la práctica. Ahora bien, ningún teorema ni hipótesis de trabajo puede surgir en su forma definitiva como Palas Atenea surgió de la cabeza de Zeus. Todas las hipótesis que finalmente han resultado útiles y han conducido a descubrimientos importantes se presentaron al principio en forma vaga en la mente de su inventor. Cuando Arquímedes saltó de su baño una mañana gritando ¡Eureka! no había aún descubierto, como es natural, todos los detalles del principio gracias al cual puede ser determinado el peso específico de los diversos cuerpos, e indudablemente hubo muchas gentes que se rieron ante sus primeros ensayos. He aquí quizá la causa de que la mayor parte de los precursores científicos demoran anunciar la naturaleza de sus primeras intuiciones, aun cuando en su fuero interno creen hallarse sobre la huella de un nuevo descubrimiento.

Tendrían que enfrentar las bien provistas baterías de los puristas, y esa posición no es muy aconsejable para quien, dolorosa y pacientemente, se deja llevar por su propio instinto. Y no quiere ser desalentado cuando sus ensayos terminan por un fracaso. Todas las hipótesis de la ciencia física tienen que pasar por un período de difícil gestación antes de que puedan ver la luz del día y pasar a las manos de los otros investigadores en forma científica.

Incluso cuando una teoría científica ha demostrado su derecho a la existencia, en razón a los resultados que ha producido, el purista suele tardar largo tiempo en convencerse. El triunfo de la nueva teoría física no se debe a su consistencia lógica con respecto a las ideas aceptadas, sino más bien a que explica y coordina ciertos

hechos ya conocidos pero que no podían ser explicados sino merced a la nueva hipótesis. Como es natural, los puristas tienen siempre el conocido recurso de atacarla por la espalda. Apelan a la intervención del azar. Algunos de ellos permanecen en esa posición, mientras que otros toman una postura intermedia de cierto escepticismo. En cambio, el pragmático encuentra que la hipótesis en cuestión da una solución clara a ciertos enigmas, y, en consecuencia, la acepta. En lugar de mirar hacia atrás, comienza a mirar hacia adelante con el deseo de averiguar si la hipótesis puede ser aplicada también en otras direcciones. Así ocurrió, por ejemplo, con la hipótesis de los cuantos. Originariamente fue formulada para aclarar un enigma de la radiación que existía desde hacía largo tiempo, pero en las manos de Einstein fue pronto aplicada para explicar la constitución de la luz, y en las manos de Niels Bohr sirvió para explicar la estructura del átomo.

Siguiendo esta vía quedó establecida finalmente la existencia de un peso atómico absoluto.

No necesito entrar en detalles referentes a las investigaciones que condujeron al descubrimiento del peso atómico absoluto. Entre las diferentes líneas de trabajo puedo mencionar el desarrollo de la teoría cinética de los gases y fluidos, las leyes que gobiernan las radiaciones del calor y de la luz, el descubrimiento de los rayos catódicos y la radioactividad, y la medición del cuanto eléctrico elemental. En la actualidad ningún físico puede discutir el hecho de que el peso del átomo de hidrógeno, dejando aparte los inevitables errores de la medición, se eleva a 1.649 cuadrillonésima de gramo.

El valor de este número es completamente independiente del peso atómico de otros elementos químicos, y en este sentido puede ser denominado cantidad absoluta.

Todo esto, como es natural, es ya un problema de conocimiento común, y si hago mención de ello es para ilustrar un rasgo característico del desarrollo de la investigación científica.

Este fenómeno se muestra también bajo las más variadas circunstancias. Los axiomas son instrumentos que han sido usados en todas las ramas de la ciencia, y en todas esas ramas hay puristas que se inclinan a oponerse con todo su poder a cualquier ampliación de los axiomas aceptados más allá de los límites de su aplicación lógica. Expondré también a la consideración del lector otro caso que no es, en modo alguno, tan simple como el que antecede. En efecto es aún el centro del debate.

Comencemos con un concepto de la energía. El término "energía" representa el trabajo que puede ser hecho por fuerzas que actúan sobre la materia. Y el principio de la conservación de la energía, formulado a mediados del último siglo, fue un desarrollo del concepto de fuerza de la mecánica newtoniana. Según el principio de conservación de la energía, en todo proceso mecánico, la cantidad de energía con que la fuerza impulsora actúa sobre el cuerpo que se mueve es compensada por una pérdida de energía potencial de la fuerza actuante. Dos tipos de energía quedan así reconocidos, la energía potencial y la energía cinética, siendo la primera la energía poseída por los cuerpos en reposo y la segunda la energía de los cuerpos en movimiento. No hay, pues, una absoluta

pérdida de energía, sino tan sólo un cambio de un tipo de energía en otro. La pérdida sufrida por un tipo de energía, la potencial, es compensada por la ganancia del otro tipo, la cinética. En este sentido los puristas pueden, con razón, mantener que el principio de la conservación de la energía es únicamente válido para una diferencia de ésta, y que el concepto de energía no puede referirse al estado de un cuerpo, o, como se dice en lenguaje científico, al estado de un sistema físico, sino más bien a un cambio de este estado. Por tanto, el valor energía sigue siendo un factor sobreañadido indefinido. Entonces el problema de su medición carecerá de significación en la ciencia física, y podrá tener la misma relación para el físico que la que pueda tener para el arquitecto, que construye una casa, la altura a que se halla sobre el nivel 197 del mar. El arquitecto tiene que limitarse a considerar la altura de la casa y la de los diferentes pisos de que está compuesta. Tal es la objeción que un purista puede hacer.

Este punto de vista podría ser perfectamente sólido si el principio de la conservación de la energía fuera el único axioma considerado en ciencia física, pero no es éste el caso. Por tanto, no es posible rechazar inmediatamente la sugestión de que puede ser conveniente introducir dentro del concepto de energía otro axioma, si el resultado obtenido permite determinar perfectamente el estado de una imagen física. De ser así, es obvio que el concepto de la energía podrá ser muy simplificado por la adición de alguna otra cosa que no sea solamente el principio de la conservación. En efecto, esto es lo que se ha hecho actualmente. Para cualquier sistema físico, en

un estado dado, podremos encontrar una expresión definida para la magnitud de su energía sin que intervengan factores sobreañadidos. Consideremos, en primer término, la energía electromagnética en el vacío. Existe un axioma que establece el valor absoluto de esa energía, y que dice que la energía de un campo electromagnético neutro es igual a cero. Esta ley no se comprueba por sí misma ni se deduce del principio de la conservación de la energía. Hace pocos años, Nernst formuló la hipótesis de que en el llamado campo neutral existe cierta energía de radiación estacionaria de enorme magnitud, que se denomina la radiación del punto cero. No puede ser descubierta por la observación de los procesos ordinarios, pues fluye a través de todos los cuerpos igualmente, lo mismo que la presión de la atmósfera representa un importante factor que no toma parte en la mayoría de los movimientos que observamos, debido a que la presión es igual en todas direcciones. Tal hipótesis de la radiación es perfectamente razonable, y su validez se deduce únicamente de los resultados que se derivan de su aplicación. Para su aplicación, sin embargo, es absolutamente necesario encontrar un sistema especial de referencia que sea inmóvil; aquel en el cual la radiación cero es igual en todas direcciones. Mediante la energía absoluta del campo neutro puede establecerse la energía absoluta de cualquier otro campo electromagnético.

Ocupémonos ahora de la energía de la materia, para la cual podemos también obtener un valor definido absoluto. Pero la energía de un cuerpo en reposo no es igual a cero, como probablemente podría pensarse teniendo en cuenta la analogía con

el campo electromagnético neutro. La energía de un cuerpo en reposo es igual a su masa multiplicada por el cuadrado de la velocidad de la luz. Esta es la llamada energía de un cuerpo en reposo, y está causada por su constitución mecánica y su temperatura. Si el cuerpo se pone en movimiento en virtud de alguna fuerza, este valor de energía, que es enorme, no se hace sentir por sí mismo, ya que el fenómeno de movimiento surge allí de una diferencia de energía. Tal concepción jamás puede haber nacido del principio de la energía. En efecto, surge de la teoría especial de la relatividad, siendo una notable coincidencia que sea justamente la teoría de la relatividad la que ha conducido a la determinación de un valor absoluto para la energía de un sistema físico. Esta aparente paradoja se explica por el simple hecho de que en la teoría de la relatividad hay una relación de dependencia con el sistema de referencia elegido, mientras que en este caso la dependencia tiene lugar respecto al estado físico del cuerpo observado.

"¿No parece, en realidad, un completo contrasentido decir que la energía de un átomo de oxígeno es dieciséis veces mayor que la de un átomo de hidrógeno?", podría preguntarse el purista. Es posible responder que ese juicio carecería de sentido si no pudiéramos hablar de la hipotética transformación del oxígeno en hidrógeno sin involucrar una contradicción lógica en el pensamiento mismo. Pero la idea de que el oxígeno se cambie un buen día en hidrógeno no implica una contradicción lógica. Ahora bien, es un error decir, cuando se trata de estos problemas, que alguna cosa es un contrasentido, a no ser que pueda demostrarse que es lógicamente

incoherente, y, por tanto, parecerá más aconsejable esperar el día en que el problema de esta transformación del oxígeno en hidrógeno pueda adquirir una significación razonable. Existen ya signos de que ese tiempo está llegando.

De igual modo que en el caso de la energía electromagnética y cinética, en todas las ramas de la física, tanto mecánicas como electrodinámicas, el movimiento ya no se considera como diferenciales de energía, sino que se tiende hacia los valores absolutos. Y esta dirección ha conducido invariablemente a importantes resultados. Cuando se trataba del fenómeno de la radiación del calor, por ejemplo, nos ateníamos a la estricta regla de operar únicamente con la diferencia entre la radiación absorbida y la emitida, pues todos los rayos calóricos que un cuerpo absorbe pueden ser también cedidos. Pero en la teoría de Prevost estos dos procesos se han separado, teniendo una significación independiente. En el galvanismo sólo se medía la diferencia de potencial; pero el valor absoluto del potencial era también reconocido dado que la energía potencial de toda carga eléctrica a infinitas distancias se consideraba igual a cero. Para la emisión de la radiación monocromática, en el caso de un átomo, la medida de la frecuencia emitida daba sólo una diferencia de la energía atómica antes y después de la emisión. Pero cuando se separaron los dos factores de esta diferencia —los llamados términos— y se examinaron separadamente, Niels Bohr y Arnold Sommerfeld fueron capaces de descubrir una clave para la solución del misterio; Niels

Bohr para el caso de las radiaciones visibles y Arnold Sommerfeld para los rayos X.

El progreso desde lo diferencial a lo integral, en la ciencia física, no es una simple característica del problema de la energía, pues también lo encontramos en cualquier otra rama de la investigación física. Así, la antigua teoría de la elasticidad de los cuerpos debe referirse ahora a los fenómenos de superficie. En electrodinámica, las fuerzas eléctricas y magnéticas se resuelven en la llamada tensión maxwelliana. Las mediciones termodinámicas de temperatura y presión se resuelven en el potencial termodinámico. En cada uno de estos casos, el progreso significa un nuevo período en la evolución de la física teórica.

Pero en este esfuerzo evolutivo hay algo que merece más detenida atención, pues se está aún en una fase indecisa. Es el problema de encontrar un valor absoluto para la entropía. En la definición original de la entropía, expuesta por Rudolf Clausius, cuando medimos la entropía de un cuerpo debe haber un proceso reversible de algún tipo que nos capacite para determinar la diferencia de entropía entre los estados inicial y final del proceso. A la luz de esta teoría, el concepto de entropía se refería originariamente no a un estado, sino más bien a un cambio de estado, exactamente como en el caso del peso atómico y de la energía. En realidad, la primera noción científica era que el concepto de entropía tenía significación física únicamente donde podía ser un proceso reversible. Y no transcurrió mucho tiempo, de todos modos, cuando se abrió camino un concepto más amplio, y la entropía comenzó a ser considerada

como una característica o cualidad inherente al estado de un cuerpo. En este nuevo camino se conservaba aún una constante adicional indefinida, pues sólo se podía medir la diferencia de entropía. Debemos seguir el camino sugerido por los experimentos de Einstein y basar el concepto de entropía sobre las leyes estadísticas que gobiernan las oscilaciones de una imagen física en relación a su estado termodinámico de equilibrio, aun cuando sólo lleguemos a una medición de diferencias involucradas en un cambio de entropía, y jamás alcancemos el valor absoluto de la entropía misma.

¿Habrà entonces algùn camino por el que podamos esperar hallar un valor absoluto para la entropía, como ha sido encontrado para la energía? No creo que la cuestión pueda encontrar una respuesta basándose en la analogía entre estos dos casos. Ante tales sugerencias siempre estoy inclinado a colocarme al lado de los puristas, quienes mantienen que es un contrasentido pretender llegar a los valores de ambos términos partiendo del valor de la diferencia. Si queremos mantener claras nuestras perspectivas hay que ser siempre muy cuidadoso en lo que se puede o no se puede deducir de una definición. A este respecto, el criterio de los puristas es indispensable. Debemos decir en su honor que son los guardianes concienzudos del orden y de la pureza en los métodos científicos. No hay nada en el trabajo científico tan seductoramente peligroso como la introducción de analogías extrañas en el problema en cuestión. Es una advertencia que necesita repetirse actualmente con más insistencia que en otras épocas. Pero al mismo tiempo no

hay que olvidar el hecho de que la física no es una ciencia deductiva, y que su cuerpo de principios fundamentales no es en modo alguno fijo e inalterable. Si se sugiere que un nuevo axioma puede ser introducido, en lugar de rechazado de inmediato debe ponerse en cuarentena, podríamos decir, para examinar sus méritos antes de darle patente de salud.

Esa patente de salud que dará un derecho de ciudadanía en la ciencia física, debe ser extendida, completamente libre de prejuicios. La pretensión del nuevo axioma debe ser atendida basándose en su capacidad para servir a la causa de la ciencia en alguna dirección que necesite de sus servicios, y cuando los axiomas primitivos sean incapaces de desempeñar ese papel. Una vez que el nuevo axioma ha demostrado que puede resolver problemas hasta entonces insolubles, o al menos dar lugar a una hipótesis de trabajo para su explicación, tendrá perfecto derecho a ser admitido.

Antes de indicar una línea definida acerca de la respuesta que finalmente debe darse, llamaré la atención sobre la diferencia entre procesos reversibles e irreversibles, y después de esto comprenderemos la hipótesis de Boltzmann que nos puede sugerir la respuesta.

Supongamos que sumergimos en un recipiente con agua fría un trozo de hierro calentado a muy elevada temperatura. El calor del hierro se transmitirá al agua hasta que ésta y aquél tengan igual temperatura. Esto es lo que se denomina equilibrio térmico, que tiene lugar en todos los casos si no existe nada que impida la conducción del calor.

Tomemos ahora dos tubos verticales de vidrio, abiertos en las extremidades superiores y que tienen las extremidades inferiores unidas por un trozo de goma. Si introducimos un líquido pesado, como el mercurio, en el interior de uno de los tubos, el líquido pasa a través de la acodadura de goma hacia el segundo tubo, y se eleva en él hasta que el nivel de las superficies en ambos es el mismo. Supongamos ahora que elevamos uno de los tubos; entonces el nivel se modifica, pero el líquido vuelve a descender inmediatamente cuando colocamos los tubos en la posición primitiva. Entre este ejemplo y el del trozo de hierro sumergido en el agua hay innegable analogía. En ambos casos cierta diferencia provoca un cambio. En el caso del tubo que elevamos con respecto al otro se produce un cambio de nivel, y en el caso del hierro y el agua existe, en el momento de la inmersión, una diferencia entre las temperaturas. Si en ambos casos permitimos que la masa total lleve un tiempo suficientemente largo en reposo, las diferencias desaparecerán, y se obtendrá una condición de equilibrio.

Pero, en realidad, la analogía entre estos dos casos tan sólo es aparente. Todos los experimentos que han sido hechos nos permiten afirmar que la acción del líquido en los tubos sigue una ley dinámica, mientras que la energía de la temperatura sigue una ley estadística.

Para comprender esta aparente paradoja, debemos recordar que la caída del líquido pesado es una consecuencia necesaria del principio de la conservación de la energía. Si el líquido que está a más alto nivel ascendiera aún más sin influencia de ningún agente

externo, y el líquido del nivel más bajo descendiera en mayor grado, la energía podría ser creada de la nada. Es decir, podría aparecer nueva energía, lo que es completamente contrario al principio. El caso de la temperatura es diferente. El calor podría seguir el proceso inverso desde el agua fría al hierro caliente, y, sin embargo, el principio de la conservación de la energía sería respetado, pues el calor mismo es una forma de energía, y el principio únicamente exige que la cantidad de calor cedida por el agua sea igual a la absorbida por el hierro.

Ahora bien, las dos operaciones muestran la siguiente diferencia de características: el líquido que desciende se mueve más rápidamente a medida que cae. Cuando el nivel en un tubo corresponde al nivel en el otro, el líquido no queda en reposo, sino que sobrepasa el punto de equilibrio debido a la inercia, así que el líquido que originariamente estaba en un nivel más elevado está ahora a un nivel más bajo que el que tenía antes de ascender. La velocidad del líquido que cae descenderá gradualmente a cero en el tubo número uno, y entonces se produce el proceso inverso, es decir, el descenso del nivel en el tubo número dos. Si pudiera ser eliminada la pérdida de energía cinética en la superficie del aire, que es debida a la fricción en las paredes del tubo, el líquido oscilaría hacia arriba y hacia abajo indefinidamente en torno a su posición de equilibrio. Este proceso se denomina reversible.

En el caso del calor, las condiciones son completamente diferentes. Cuanto más pequeña sea la diferencia de temperaturas entre el hierro caliente y el agua, tanto más lenta será la transmisión del

calor desde el uno a la otra, y el cálculo muestra que transcurre un tiempo infinitamente largo antes de que se alcance la igualdad de temperatura. Esto significa que existe siempre cierta diferencia de temperatura independientemente del tiempo transcurrido. En este caso no hay oscilación del calor entre los dos cuerpos; la corriente es siempre en una dirección, y, por tanto, representa un proceso irreversible.

Esta diferencia entre procesos reversibles e irreversibles es fundamental en la ciencia física.

La gravitación, las oscilaciones mecánicas y eléctricas, las ondas sonoras y electromagnéticas son procesos reversibles; en tanto que la conducción del calor y la electricidad, las radiaciones y todas las reacciones químicas cuya velocidad es conocida, son procesos irreversibles. Para explicar este caso, Clausius formuló su segunda ley de termodinámica. La importancia de la ley radica en que atribuye una dirección a todo proceso irreversible. De todos modos, L. Boltzmann fue quien introdujo en este caso la teoría atómica; así explicó la significación de la segunda ley y al mismo tiempo la de todos los procesos irreversibles cuya explicación había presentado dificultades dentro de la dinámica clásica.

Según esta teoría atómica, la energía térmica de un cuerpo es la suma total de un pequeño, rápido e irregular movimiento de sus moléculas. La temperatura corresponde a la energía cinética media de las moléculas, y la transmisión del calor desde un cuerpo más caliente a otro más frío depende de que las energías cinéticas de cada molécula constituyan un promedio en virtud de la frecuente

colisión que entre ellas tiene lugar. De todos modos no debe suponerse que cuando dos moléculas chocan, la que tenga mayor energía cinética sea frenada y la otra acelerada, pues si —por citar un ejemplo— una molécula de un sistema que se mueve rápidamente choca oblicuamente con otra que lo hace con mayor lentitud, su velocidad aumenta, mientras que la molécula de movimiento más lento disminuye aún su velocidad. Pero considerado el conjunto, a no ser que las circunstancias sean completamente excepcionales, las energías cinéticas deben asociarse en una cierta cantidad, y esta asociación es la que aparece igualando la temperatura de los cuerpos.

Boltzmann, de todos modos, no se esforzó mucho para imponer su hipótesis a los hombres de ciencia, quienes presentaron gran resistencia a su aceptación, pero en la actualidad ha sido completamente admitida. En general se admite ahora que el movimiento calórico de las moléculas y la conducción del calor, como los restantes fenómenos irreversibles, no obedecen a leyes dinámicas, sino a leyes estadísticas; estas últimas son las leyes de probabilidad.

Ahora bien, en el caso que consideramos no hay dificultad para decir que la idea perseguida es la de hallar un valor absoluto para la entropía. Y si un nuevo axioma puede ser de utilidad para esa idea, debemos admitirlo. Por lo que se refiere a la idea del valor absoluto de la entropía, si siguiendo a Boltzmann consideramos a aquélla como una medida para la probabilidad termodinámica, observaremos que cuando un estado físico, como un volumen de

gas, con diversos grados de libertad y dotado con una energía definida, ha alcanzado una condición de equilibrio termodinámico, la entropía no será otra cosa que el número de estados multiformes que un sistema puede adquirir en condiciones dadas. Y si la entropía así considerada posee un valor absoluto, no hay duda de que el número de estados posibles, en las condiciones dadas, es completamente definido y finito.

En la época de Clausius, de Helmholtz y de Boltzmann, tal afirmación hubiera sido considerada completamente fuera del problema. Las ecuaciones diferenciales de la dinámica clásica eran consideradas entonces como las únicas fundamentales de la ciencia física. En consecuencia, era necesario considerar los estados físicos como continuos, y todas las posibilidades de cambio como cantidades infinitas. Desde que se planteó la hipótesis de los cuantos el problema es diferente, y creo que no habrá que esperar mucho tiempo para que sea posible hablar de un número definido de posibles estados y de medidas absolutas de entropía correspondientes a ellos, sin acometer de modo excesivamente violento contra las ideas físicas del tiempo que son aceptadas. En realidad, el nuevo axioma de los cuantos ha producido ya resultados que pueden compararse, sin desmedro, con las más fructíferas teorías del pasado. En el caso del calor radiante ha conducido a formular leyes de la energía que explican el espectro normal. En las leyes termodinámicas ha encontrado su expresión en la teoría establecida por W. Nernst, que ha sido confirmada por diversos autores. El fundamento de la hipótesis de los cuantos ha sido tan

ampliado que gracias a él se puede deducir no sólo la existencia, sino también los valores numéricos de las llamadas constantes químicas. Por lo que se refiere a la constitución del átomo, las ideas de Niels Bohr han sido el punto de partida para el establecimiento de las denominadas órbitas electrónicas estacionarias, y así se ha preparado el terreno para resolver el enigma de los fenómenos espectroscópicos. En fin, a no ser que todos estos resultados sean engañosos, parece que se está desarrollando un proceso que podría ser llamado la reducción de todas las teorías físicas a términos aritméticos, pues gran número de dimensiones físicas que hasta ahora habían sido consideradas como continuas, al ser sometidas al examen microscópico y a un análisis más agudo, han resultado discontinuas y numerables. Dentro de estos conceptos, las mediciones que han sido efectuadas por L. S. Ornstein, el director del Instituto Físico de Utrecht, son significativas. Estas mediciones muestran que la relación de intensidad de los componentes de la multiplicidad del espectro puede ser dada en simples números integrales. Y el interesante ensayo de Max Born para sustituir el cálculo diferencial de la mecánica física por ecuaciones de diferencias finitas, sigue la misma dirección.

Los notables casos que aquí he mencionado muestran un definido Drang o impulso fundamental que parece caracterizar el progreso de la ciencia física. En estos casos, el movimiento ha sido indudablemente desde lo relativo a lo absoluto. Ahora se plantea esta cuestión: ¿Hasta qué punto puede decirse que este avance es característico del progreso de la ciencia física en su conjunto? Quizá

sería demasiado aventurado si respondo a esta pregunta con una afirmación resuelta. Puedo imaginarme fácilmente que algunos de mis lectores sustentan el punto de vista opuesto, y piensan que este capítulo podría ser escrito en sentido inverso titulándolo "Desde lo absoluto a lo relativo". Tendrían a mano, en verdad, razones para justificar, al menos superficialmente, su posición. El lector podría, por ejemplo, aducir que el concepto del peso atómico indica más bien una dirección opuesta a la que yo he sugerido. Mi contradictor imaginario podría afirmar que la cifra que yo he considerado como representante del peso absoluto del átomo no es en modo alguno absoluta. Teniendo presente que un elemento posee de ordinario diversos isótopos con diferente peso atómico, el peso atómico medido representa una cifra compleja que es una especie de valor medio, que depende de la relación de los varios isótopos en el compuesto que se analiza. Incluso si consideramos únicamente un solo isótopo, sería anticientífico, desde el punto de vista de nuestros conocimientos, aceptarlo como algo absoluto. La opinión más moderna, respaldada por el experimento de Rutherford de bombardear el núcleo del átomo, parecería revivir la hipótesis de Proust, que refiere la constitución de todos los elementos químicos al átomo básico de hidrógeno. En consecuencia el concepto de peso atómico sería fundamentalmente una cifra relativa. Con esta primera victoria, mi opositor podría jugar su carta de triunfo, y lanzar sobre la mesa la teoría general de la relatividad de Einstein. Podría muy bien aducir que hablar de los conceptos de espacio y tiempo como algo absoluto pertenece al pasado, y significa un

retroceso más que un avance. En otras palabras, uno de los más señalados progresos en la física moderna se asocia con la idea de lo relativo más que con la idea de lo absoluto.

La primera y más clara réplica a esta crítica es llamar la atención hacia el peligro de aplicar términos científicos a hechos y acepciones para los cuales no han sido creados. Ya he mostrado cómo la teoría de la relatividad nos ha conducido realmente al descubrimiento de una medida absoluta, mediante la cual puede ser formulada la energía de un cuerpo en reposo. Por tanto, es evidente que el término relatividad no debe referirse a la física en su conjunto, ni debe tomarse con otro alcance que no sea su especial contenido científico.

Sería muy superficial considerar la relatividad del tiempo y del espacio, y mantenerla firmemente dentro de los límites de ese concepto sin preguntar a dónde conduce. Realmente el concepto de relatividad se basa sobre un absoluto más fundamental que aquel absoluto erróneamente admitido al cual ahora ha sustituido. En la historia de la ciencia se ha observado repetidas veces que conceptos que en una época fueron considerados como absolutos han resultado más tarde de un valor relativo, y esto es exactamente lo que ha sucedido con los primeros conceptos de espacio y tiempo. Pero cuando un concepto absoluto ha llegado a relativizarse, esto no significa que la pesquisa de lo absoluto quede eliminada del progreso científico. Significa más bien que un concepto más fundamental ha tomado su lugar, habiéndose logrado un progreso más importante. Si admitimos el concepto de relatividad en todo,

debemos admitir la posibilidad de lo absoluto, pues partiendo de éste es como ha surgido el concepto de lo relativo. Supongamos, por ejemplo, un investigador científico que trabaje años y años en el problema de descubrir la causa de cierto fenómeno especial que se presenta en la naturaleza y que encuentra que todos sus esfuerzos son vanos. Podría justificadamente declarar que el fenómeno no reconoce causa alguna. El hecho es que nosotros no podemos relativizar todas las cosas, como tampoco somos capaces de definir y explicar todas las cosas. Hay hechos fundamentales que no pueden ser definidos o explicados, pues forman la base de todos nuestros conocimientos. Toda definición debe reposar necesariamente sobre algún concepto que no sea necesario definir. Y otro tanto puede decirse de cualquier forma de prueba demostrativa. No podemos definir una cosa si no es con términos que han sido ya conocidos y aceptados, y nos es imposible demostrar nada si no es partiendo de algo que está ya admitido. Si deseamos establecer una verdad por el método inductivo debemos hacerlo sobre la base de hechos aceptados. Y si pretendemos establecer una verdad por el proceso del razonamiento deductivo, el principio de que procede la deducción debe ser aceptado como absoluto. En consecuencia, el concepto relativista tiene que poseer como fundamento necesario el concepto de lo absoluto. Si eliminamos lo absoluto, toda la teoría relativista cae por su base, lo mismo que caería un traje si desapareciera la percha que lo sostiene. Creo que estas consideraciones son suficientes para

sugerir la réplica que pudiera darse a los contraargumentos de mi imaginario impugnador.

Si en definitiva fuera posible referir los pesos atómicos de todos los elementos al peso atómico del hidrógeno, habríamos obtenido uno de los más fundamentales resultados en la historia de la investigación científica sobre la materia. A la luz de esta explicación quedaría demostrado que la materia tiene un origen simple. Entonces, los dos factores del átomo de hidrógeno, el núcleo cargado positivamente (el llamado protón) y el electrón, cargado negativamente, en unión con el cuanto elemental de acción, representarían los cimientos sobre los que se construiría la estructura del mundo físico. Ahora bien, estas cantidades serán consideradas como absolutas en tanto que no dependan de otras o de algo que esté fuera de ellas. Es decir, tendremos una vez más lo absoluto, aunque a un nivel más elevado y en una forma más simple. Si todavía deseamos desenvolver el hilo de este pensamiento, podemos preguntarnos: ¿cuál es el fundamento sobre el que está constituida la gran teoría relativista? Einstein explica que nuestros conceptos de espacio y tiempo, que eran reconocidos por Newton y Kant como formas absolutas de todo conocimiento, poseen realmente un significado relativo, en cuanto dependen de una selección arbitraria del sistema de referencia y de los medios para la medición. Es un hecho familiar que no podemos observar el movimiento de algún cuerpo sin referirlo a otro, y fue para salvar esta dificultad que Newton aceptó la hipótesis del espacio absoluto. Las estrellas "fijas" fueron utilizadas para definir el espacio

absoluto, pero, sin embargo, no son fijas, ni siquiera consideradas en relación a las restantes. De aquí que el concepto de espacio absoluto y los puntos de referencia de acuerdo a los cuales era "fijado", son completamente arbitrarios.

Esta explicación toca quizá a las raíces más profundas de nuestro pensamiento científico. Si desde el espacio y tiempo no puede deducirse el concepto de lo absoluto, esto no significa que lo absoluto deba ser desterrado de la realidad, sino más bien que hay que referirlo a algo más fundamental. En efecto, este algo más fundamental es el complejo tetradimensional constituido por la fusión del tiempo y del espacio en un continuo único. Aquí el estándar de referencia y de medición es independiente de la selección arbitraria, y es absoluto. Basta una ligera reflexión para darse cuenta de que la teoría de la relatividad no se desembaraza, en modo alguno, de lo absoluto, sino que, por el contrario, hace de éste una definición más aguda, en tanto que indica hasta qué punto la ciencia física está basada sobre la existencia de un absoluto en el mundo exterior. Si decimos, como algunos epistemologistas, que el absoluto se encuentra únicamente en los datos de percepción sensorial del individuo, tendrían que haber tantos tipos de ciencia física como físicos hay, y seríamos manifiestamente incapaces para explicar hasta qué punto cada descubrimiento de la ciencia física ha podido relacionarse con los hallazgos y trabajos que le han precedido. En realidad, tan sólo sobre la base del trabajo cooperativo y de la aceptación por los demás de los hallazgos de los diversos investigadores, podemos explicar la estructura de la ciencia

física actual. No construimos el mundo externo para que sirva nuestras propias necesidades en la marcha de la ciencia, sino que, por el contrario, es el mundo externo el que por sí mismo nos obliga a que lo reconozcamos con su propio poder elemental, afirmación que categóricamente hay que hacer en estos tiempos positivistas. Dado que al estudiar los fenómenos de la naturaleza nos esforzamos por eliminar lo contingente y lo accidental para llegar finalmente a lo que es esencial y necesario, resulta evidente que siempre tratamos de ver lo básico tras lo dependiente, lo absoluto tras lo relativo, la realidad tras de la apariencia, lo permanente tras lo transitorio. En mi opinión esto es una característica, no sólo de la ciencia física, sino de todas las ciencias. Además, no es simplemente una característica de todos los tipos de esfuerzo humano por alcanzar el conocimiento de cualquier problema, sino que es también característico de aquella rama de la actividad humana que intenta formular ideas acerca del bien y de la belleza.

Con esto me he excedido de mi propósito, pues el plan que me proponía al comienzo de este ensayo no era establecer afirmaciones y luego probarlas, sino más bien llamar la atención sobre ciertos cambios que tienen lugar en el curso del desarrollo científico, y, presentando los hechos, provocar una impresión en la mente del lector.

Antes de concluir deseo plantear la cuestión más difícil. Es ésta: ¿cómo podemos decir que un concepto científico al cual adscribimos ahora un carácter absoluto no pueda, en una fecha futura, poseer tan sólo cierto significado relativo que nos ponga sobre la huella de

un ulterior absoluto? A esta cuestión sólo puede darse una respuesta. Después de lo dicho y teniendo en cuenta las contingencias por las que ha atravesado el progreso científico debemos admitir que en ningún caso puede darse como seguro que lo que es absoluto en la ciencia de hoy lo sea en toda época. Y también hay que admitir como irrefutable la verdad de que lo absoluto jamás podrá ser alcanzada por el investigador. Lo absoluto representa una meta ideal que está siempre delante de nosotros y que nunca podremos lograr. Podrá ser un pensamiento desalentador, pero debemos aceptarlo. Estamos en una situación análoga a la de un alpinista que asciende por regiones desconocidas, y que ja-más sabrá si tras la cima que se halla frente a él no se alza otra aun más elevada. El valor de la jornada no está en su fin sino en la jornada misma. Es decir, en el esfuerzo por alcanzar la meta a la que nosotros siempre aspiramos, nos alienta el hecho de que siempre estemos más cerca de ella. Acercarse cada vez más a la verdad, he aquí el afán y el desea de toda ciencia.

Podemos aplicar la frase de Gotthold Ephraim Lessing:

*"No es la posesión de la verdad, sino el esfuerzo por alcanzarla, lo que produce el goce al investigador".*

No podemos sentarnos a descansar sin miedo a enmohecernos y decaer. La salud únicamente se mantiene con el trabajo. Esto que es cierto para toda la vida, lo es también para la ciencia.

Siempre forcejemos para ir desde lo relativo a lo absoluto.

## **Epílogo**

### **Un dialogo socrático**

**Interlocutores: Einstein - Planck – Murphy** <sup>10</sup>

**MURPHY:** He colaborado con nuestro amigo Planck en un libro que se ocupa principalmente del problema de la causalidad y de la libertad de la voluntad humana.

**EINSTEIN:** Honradamente no puedo comprender lo que las gentes quieren decir cuando hablan de la libertad de la voluntad humana. Tengo la sensación, por ejemplo, de que quiero esto o aquello, pero no puedo comprender, en modo alguno, qué relación tiene este sentimiento con la libertad. Siento que quiero encender mi pipa, y así lo hago. Pero ¿Cómo puedo relacionar esto con la idea de la libertad? ¿Qué hay tras el acto de querer encender la pipa? ¿Otro acto de voluntad? Schopenhauer ha dicho: *Der Mensch kann was er will; er kann aber nicht wollen was er will*, (El hombre puede lo que él quiere; pero no puede querer lo que él quiere).

**MURPHY:** Pero ahora la moda en la ciencia física es atribuir a algo semejante a la libre voluntad incluso los rutinarios procesos de la naturaleza inorgánica.

**EINSTEIN:** Esta falta de sentido no es simplemente una falta de sentido. Es una falta de sentido objetable.

**MURPHY:** Perfectamente, los científicos le dan el nombre de indeterminismo. **EINSTEIN:** Así es, pero el indeterminismo es un

---

<sup>10</sup> Las páginas siguientes son un resumen de las notas taquigráficas tomadas por un secretario durante diversas conversaciones.

concepto completamente ilógico. ¿Qué es lo que se quiere significar con indeterminismo? Si yo digo que la duración vital media de un átomo radioactivo es tal y cual, se trata de un juicio que expresa un cierto orden, *Gesetzlichkeit*. Pero esta idea no envuelve en sí la idea de la causalidad. Nosotros la llamamos ley de promedios; pero no toda ley de ese tipo necesita tener una significación causal. Al mismo tiempo, si yo digo que la duración media de la vida de tal átomo es indeterminada, en el sentido de no ser causada, estoy diciendo una falta de sentido. Puedo decir que yo me encontraré con Vd. en el día de mañana en algún tiempo indeterminado.

Pero esto no significa que el tiempo no esté determinado. Llegue yo o no, el tiempo llegará.

Aquí existe una confusión del mundo subjetivo con el objetivo. El indeterminismo que pertenece a la física de los cuantos es un indeterminismo subjetivo. Debe estar relacionado con algo, otro indeterminismo carece de significación y está relacionado con nuestra propia incapacidad para seguir el curso de los átomos individuales y prever sus actividades. Decir que la llegada de un tren a Berlín es indeterminada, es afirmar un contrasentido, a no ser que Vd. lo diga refiriéndose a lo que está indeterminado. Si llega, está determinado por algo y otro tanto ocurre cuando se trata del curso de los átomos.

**MURPHY:** ¿En qué sentido puede Vd. aplicar el determinismo a la naturaleza? ¿En el sentido de que todo suceso en la naturaleza procede de otro suceso que denominamos causa?

**EINSTEIN:** Dificilmente lo plantearé de ese modo. En primer lugar pienso que muchas de las confusiones producidas en esta cuestión de la causalidad son debidas a la fórmula más bien rudimentaria del principio de la causalidad que ha estado en boga hasta ahora. Cuando Aristóteles y los escolásticos definían lo que ellos entendían por causa, la idea del experimento objetivo en el sentido científico no había aún surgido. Por tanto, se contentaban con definir el concepto metafísico de causa, y lo mismo puede decirse de Kant. Newton mismo parece que se había dado cuenta de que esta fórmula pre-científica del principio causal sería insuficiente para los físicos modernos. Y Newton se contentaba con describir el orden regular en que se producían los fenómenos en la naturaleza, y construir sus síntesis sobre la base de leyes matemáticas. Pero yo creo que los sucesos en la naturaleza son regidos por una ley mucho más estricta y que los liga más íntimamente de lo que sospechamos en la actualidad cuando hablamos de que un suceso es la causa de otro. Nuestro concepto se limita aquí a un suceso dentro de un lapso de tiempo. Y se encuentra separado del proceso en su conjunto. La cruda forma con que hoy se aplica el principio de la causalidad es muy superficial. Nos comportamos como un niño que juzga un poema por el ritmo, y no conoce nada de la pauta rítmica. Podemos decir también que nos comportamos como un joven estudiante de piano que justamente relaciona una nota con la que inmediatamente la precede o la sigue. Esto puede ser cierto cuando se trata de composiciones muy simples o primitivas, pero no lo será en el caso de la interpretación de una fuga de Bach. La física

de los cuantos presenta ante nosotros procesos muy complejos, y para comprenderlos debemos ampliar y refinar nuestro concepto de la causalidad.

**MURPHY:** Difícil tarea será para usted, pues se encontrará pasado de moda. Si usted me permite haré una breve disertación, pero no sólo para sentir el placer de escucharme — ¿qué irlandés no lo haría?— sino más bien para sorprender las reacciones que mi charla produce en usted.

**EINSTEIN:** Gewiss (ciertamente).

**MURPHY:** Los griegos hicieron del designio o del destino la base de su drama; y el drama en aquellos días era una expresión litúrgica de la conciencia percibida de un modo perfectamente irracional. No se trataba de una simple discusión. Recuerde Vd. la tragedia de Atreus, donde el destino o la secuencia ineluctable de causa y efecto es el único y simple hilo del cual el drama pende.

**EINSTEIN:** El designio o el destino y el principio de la causalidad no son la misma cosa.

**MURPHY:** Bien lo sé. Pero los científicos viven en el mundo lo mismo que las demás gentes. Algunos asisten a reuniones políticas y al teatro, y la mayor parte de los que conozco, al menos en Alemania, son lectores de la literatura corriente. No pueden escapar de la influencia del medio en que viven. Y ese medio en la época presente se caracteriza por un esfuerzo por librarse de la cadena causal en la que el mundo está enredado.

**EINSTEIN:** Pero ¿no se ha esforzado siempre la humanidad por zafarse de esa cadena causal?

**MURPHY:** Sí, pero no en el grado en que lo hace ahora. En cualquier caso dudo que el político, incluso cuando contempla las consecuencias de la seriación causal, quede detenido por su necesidad. Es demasiado listo y puede desprenderse de las cadenas. Macbeth no era un político, y por esto fracasó: Se dio cuenta de que el asesinato no podría escapar de la consecuencia. Pero no pensó cómo sería posible huir de sus grilletes hasta que era demasiado tarde. Esto fue debido a que no era un político. Mi opinión es que existe un reconocimiento universal en el momento de esta consecuencia inexorable. Las gentes se dan cuenta de lo que Bernard Shaw les dijo hace largo tiempo —aunque, como es natural, había sido ya dicho antes en innumerables ocasiones— cuando escribió César y Cleopatra. Usted recordará las palabras de César a la Reina de Egipto después que ella ordenó matar a Fotinus, aunque César había garantizado su vida.

"¿Escucháis?" decía César. "Esos aldabonazos en vuestra puerta son también de los creyentes en la venganza y en la muerte. Habéis matado a su Jefe; es justo que ellos os maten. Si dudáis preguntadlo a los cuatro consejeros aquí presentes; y entonces, en nombre del derecho ¿no podré yo matarlos por asesinar a su reina, y ser muerto a mi vez por sus compatriotas como invasor de su patria? ¿Puede Roma hacer menos que matar a esos asesinos para mostrar al mundo cómo Roma venga a sus hijos y a su honor? Y así, al final de la historia, el crimen perdurará al crimen siempre en nombre del derecho, del honor y de la paz, hasta que los dioses fatigados de sangre creen una raza que pueda comprender".

Las gentes se dan cuenta ahora de esta terrible verdad, no porque vean que la sangre reclama sangre, sino porque ven que al robar a sus vecinos se roban a sí mismos, ya que el robo reclama el robo lo mismo que la sangre reclama sangre. Los llamados vencedores en la guerra mundial saquearon a los vencidos, y ellos reconocen que al obrar así se han saqueado a ellos mismos; así, ahora tenemos miseria por doquier. Los pueblos, a la larga, lo ven, pero no tienen el valor de enfrentarse ante el hecho y corren igual que Macbeth hacia las hechicerías de las brujas. En este caso, desgraciadamente, la ciencia es uno de los ingredientes utilizados para resolver lo que están contemplando. En lugar de admitir gallardamente la confusión, la tragedia y el crimen, todos intentan encontrar la prueba de su inocencia, y buscan la coartada que les libre de las consecuencias de sus propios actos. Así contemplan las filas de gentes hambrientas que todos los días llaman a sus puertas pidiendo pan. Ciudadanos fornidos que necesitan ejercer el privilegio del hombre. Podrá observados también paseando por las calles de Londres, con las medallas que atestiguan su conducta sobre sus pechos, reclamando pan. Y usted podrá ver lo mismo en Nueva York, en Chicago, en Roma, en Turín. Las personas que viven cómodamente desempeñando sus confortables cargos dicen "esto nada tiene que ver con nosotros". Entonces acuden a los autores populares de física y muestran su satisfacción al informarse de que la naturaleza sólo conoce la ley de las consecuencias. ¿Qué más necesita Vd.? Ahí está la ciencia, y la ciencia es la contrapartida moderna de la religión. Usted es un acaudalado burgués que ha

fundado instituciones científicas y laboratorios. Y, diga usted lo que quiera, los hombres de ciencia no serían humanos si no estuvieran animados, al menos inconscientemente, del mismo espíritu.

**EINSTEIN:** *Ach das kann man nicht sagen.* (Oh, esto no puede decirse).

**MURPHY:** Sí, claro que se puede decir. Recuerde usted su descripción respecto a los que ofician en el templo de la ciencia para beneficio propio, de esos hombres que, a pesar de haber construido gran parte del edificio, usted reconoce no serían bien vistos por el Ángel del Señor. Me inclino a pensar que el esfuerzo de la ciencia, en el momento presente, se dirige a mantener su esquema del pensamiento lejos de la confusión que puede engendrar el espíritu popular. Es poco más o menos el mismo esfuerzo que el de los antiguos teólogos. Durante el Renacimiento fueron vencidos, sin embargo, por la moda de la época, e introdujeron en la ciencia ideas y métodos extraños que finalmente dieron lugar al desconcierto de la escolástica.

La decadencia del escolasticismo data del tiempo en que el populacho corría tras los filósofos y teólogos. Recuerde cómo se hacinaba para oír a Abelardo, en París, aunque, como es natural, era incapaz de comprender sus sutilezas. La adulación de la plebe contribuyó más a su derrumbe que las simples influencias privadas. No hubiera sido humano si no se hubiera sentido tentado a pensar por encima de su ciencia, y sucumbió a la tentación. No estoy seguro de que algunos hombres de ciencia no ocupen hoy en día su

lugar. Algunas de las brillantes fantasías que hoy tejen parecen muy afines a las sutilezas sofisticadas de la decadencia escolástica.

Los filósofos y teólogos más antiguos se dieron cuenta de este peligro y se dieron maña para soslayarlo. Tenían sus doctrinas esotéricas que solamente eran descubiertas a los iniciados. Ahora tenemos el mismo tipo de protección en otras ramas de la cultura. La Iglesia Católica ha mantenido sabiamente su ritual y sus dogmas dentro de formas y fórmulas de un lenguaje que las gentes no pueden comprender. Los sociólogos y técnicos financieros hablan en una jerga propia que les pone a cubierto de quienes les rodean. La majestad de la ley se manifiesta de igual modo, y el arte médico no podría sobrevivir si prescribiera sus medicinas y describiera las enfermedades en el lenguaje vernáculo. Pero todo esto poco importa, pues ninguna de dichas ciencias o artes son vitales. La ciencia física en el momento actual es orgánicamente vital y por esa razón se resiente a causa de esos vicios.

**EINSTEIN:** En mi concepto, nada es más objetable que la idea de la ciencia para el científico. Es casi tan malo como cuando se dice que el arte es para los artistas y la religión para los sacerdotes. Esto es ciertamente lo que usted dice. Yo creo que la moda actual de aplicar los axiomas de la ciencia física a la vida humana, no es sólo un completo error sino que también es reprobable. Me parece que el problema de causalidad, que actualmente está en discusión en la física, no es un nuevo fenómeno en el campo de la ciencia. El método que está siendo usado en la física de los cuantos había sido ya aplicado en biología, pues los procesos biológicos en la

naturaleza no pueden ser seguidos hasta su origen en forma que sus reacciones se manifiesten de modo evidente, y por esa razón las reglas biológicas han sido siempre de carácter estadístico. Por esto yo no llego a comprender por qué se ha hecho tanto alboroto acerca de si el principio de causalidad sufre una restricción en la física moderna, pues en modo alguno se trata de una nueva situación.

**MURPHY:** Ciertamente no se ha producido ninguna nueva situación, pero las ciencias biológicas no son vitales en el grado que lo es actualmente la ciencia física. Las gentes ya se interesan poco de si descendemos o no de los monos, y ya no existe el entusiasmo por la biología que caracterizaba la época de Darwin y Huxley. El centro de gravedad del interés público se ha desplazado hacia la física. He aquí por qué el público reacciona de modo especial a cualquier nueva fórmula física.

**EINSTEIN:** Estoy completamente de acuerdo con nuestro amigo Planck en lo que se refiere a la posición que ha tomado acerca de ese principio, pero usted debe recordar lo que Planck ha dicho y escrito. Admite que en el estado actual de las cosas es imposible aplicar el principio causal a los procesos internos de la física atómica, pero se ha manifestado en contra de que, a causa de esta *Unbrauchbarkeit* o imposibilidad de aplicación, tengamos que concluir que el proceso de la causalidad no existe en la realidad externa. Planck no ha tomado realmente un punto de vista definido en esta cuestión. Tan sólo se ha expresado en contra de las enfáticas afirmaciones de algunos teorizantes de los cuantos, y yo estoy completamente de acuerdo con él y cuando usted hace

mención de gentes que hablan de algo así como del libre albedrío en la naturaleza, me es difícil encontrar una réplica aceptable. La idea, como es natural, es descabellada.

**MURPHY:** Usted aceptará entonces, yo así lo creo, que la física no da fundamento para esa extraordinaria aplicación de lo que por conveniencia denominamos principio de la indeterminación de Heisenberg.

**EINSTEIN:** Es natural que así lo acepte.

**MURPHY:** Entonces conocerá también que ciertos físicos ingleses de alta alcurnia, y al mismo tiempo, muy populares, han proclamado enfáticamente lo que usted y Planck, y con usted otros autores, denominan conclusiones sin garantías.

**EINSTEIN:** Es necesario distinguir entre el físico y el *littérateur* cuando ambas profesiones se funden en una sola persona. En Inglaterra existe una gran literatura inglesa y una gran disciplina de estilo.

**MURPHY:** La literatura aborrece ese amor *intellectualis* por la verdad lógica que es la pasión del científico. Es posible que los científicos ingleses cambien su color según la literatura de que se nutren, y así pueden escapar de ser descubiertos como la oruga en la hoja.

**EINSTEIN:** Lo que yo quiero decir es que hay escritores científicos en Inglaterra que son ilógicos y románticos en sus libros populares pero razonadores de una aguda lógica en sus trabajos científicos. Lo que el científico se propone es asegurar una transcripción lógicamente consistente de la naturaleza. La lógica es para él lo que

las leyes de la proporción y la perspectiva son para el pintor, y creo con Henri Poincaré que la ciencia es digna de ser cultivada porque revela la hermosura de la naturaleza. En este sentido quiero decir que el científico encuentra su premio en lo que Henri Poincaré denomina el goce de la comprensión y no en las posibilidades de aplicación a que un descubrimiento pueda conducir. El científico, así lo creo, se contenta con construir una imagen perfectamente armónica sobre una pauta matemática, y se satisface completamente con relacionar las diversas partes de la imagen mediante fórmulas matemáticas sin preguntarse hasta qué punto constituye esto una prueba de que la ley de causalidad interviene en el mundo exterior.

**MURPHY:** Permítame, profesor, llamar su atención hacia un fenómeno que sucede algunas veces allá en el lago cuando usted navega con su yate. Claro es que no se presenta frecuentemente en las plácidas aguas de Caputh, pues como están rodeadas de llanuras no se producen repentinos vendavales. Pero si usted navegara por alguno de nuestros lagos del Norte, correría el peligro de caer bajo la acción de repentinas y furiosas corrientes de aire.

Quiero decir con esto que el positivista puede surgir con facilidad y tomarle de improviso.

Si usted dice que el científico se contenta con asegurar la lógica matemática en su construcción mental, sería usted inmediatamente considerado como partidario del idealismo subjetivo defendido por algunos científicos modernos, como Sir Arthur Eddington.

**EINSTEIN:** Eso sería ridículo.

**MURPHY:** Claro es que sería una conclusión injustificada, pero usted ya ha sido muchas veces mencionado en la prensa británica como partidario de la teoría de que el mundo exterior es un derivado de la conciencia. Sobre esto he tenido que llamar la atención a un amigo mío inglés, Mister Joad, quien ha escrito un excelente libro titulado Aspectos filosóficos de la ciencia. El libro es una crítica de la posición tomada por Sir Arthur Eddington y Sir James Jeans, y el nombre de usted es mencionado como partidario de sus teorías.

**EINSTEIN:** Ningún físico puede creer eso. De ser así no podría ser físico. Debe usted distinguir entre lo que es una moda literaria y lo que es una exposición científica. Esos hombres son científicos genuinos, y sus fórmulas literarias no deben ser tomadas como expresión de sus convicciones científicas. ¿Quién se tomaría el trabajo de contemplar las estrellas si no creyera que existen realmente? En esto estoy completamente de acuerdo con Planck. Nosotros no podemos lógicamente demostrar la existencia del mundo exterior, como tampoco podemos probar lógicamente que yo estoy hablando con usted y que me encuentro aquí: pero usted sabe perfectamente que estoy aquí, y ningún idealista subjetivo podrá convencerlo de lo contrario.

**MURPHY:** Ese punto fue completamente dilucidado hace mucho tiempo por los escolásticos, y no puedo abandonar el pensamiento de que gran parte de la confusión reinante en el siglo XIX y que reina ahora podría haber sido evitada si la ruptura con la tradición filosófica no hubiera sido tan profunda en el siglo XVII. Los escolásticos plantearon muy claramente el caso para los físicos

modernos considerando las imágenes mentales de la realidad externa como existiendo *fundamentaliter in re, formaliter in mente*.

He olvidado cómo se interrumpió la discusión sobre este tema particular. En los apuntes taquigráficos el siguiente párrafo lo inicia Planck. Yo le decía que recientemente la prensa había discutido mucho acerca de la llamada bancarrota de la ciencia. ¿Es que el público en general se daba cuenta de un modo o de otro que los grandes perfeccionamientos científicos de Alemania, parecían que no habían servido para asegurar el prestigio de la nación en el extranjero? Es lógico que, en el fondo, haya que contar también con el escepticismo general, que es un rasgo universal del mundo en que vivimos. Ahora se ataca a la religión, al arte y a la literatura lo mismo que a la ciencia.

**PLANCK:** Las iglesias parecen ser incapaces de proporcionar ese áncora espiritual de salvación que algunas gentes buscan, y por ello éstas se dirigen en otras direcciones. La dificultad que la religión organizada encuentra para atraer actualmente a las gentes es que su apelación exige necesariamente el espíritu creyente, o sea lo que de ordinario se denomina fe. Dado el escepticismo reinante, su llamada recibe sólo una mezquina respuesta. De aquí que usted encontrará gran número de profetas que ofrecen algunos substitutivos.

**MURPHY:** ¿Piensa usted que la ciencia en este particular puede ser un substituto de la religión?

**PLANCK:** Para una mente escéptica en modo alguno, pues la ciencia exige también espíritus creyentes. Cualquiera que se haya dedicado

seriamente a tareas científicas de cualquier clase se da cuenta de que en la puerta del templo de la ciencia están escritas estas palabras: Hay que tener fe. Ésta es una cualidad de la que los científicos no pueden prescindir.

El hombre que tiene ante sí una serie de resultados obtenidos mediante un proceso experimental, debe forjarse una imagen de la ley que persigue, y debe estructurarla en una hipótesis imaginativa. Las facultades razonadoras por sí solas no le ayudan a dar un paso hacia adelante, pues el orden no puede surgir del caos de los elementos a no ser que la cualidad constructiva de la mente construya el orden mediante un proceso de eliminación y selección. Una y otra vez, se derrumba el plan imaginario sobre el que se intenta edificar ese orden, y entonces hay que intentar otro. Esta visión imaginativa y esa fe en el triunfo son indispensables. El racionalista puro está aquí de más.

**MURPHY:** ¿Hasta qué punto se ha comprobado esto en la vida de los grandes hombres de ciencia? Tomemos el caso de Kepler, cuyo tercer centenario estamos celebrando, y recordemos aquella tarde en que Einstein pronunciaba su conferencia en la Academia de Ciencias. ¿No se decía que Kepler había realizado ciertos descubrimientos, no porque hubiera llegado a ellos por su imaginación constructiva, sino más bien porque al observar las dimensiones de los toneles se sorprendía de que sus formas fueran las que con mayor capacidad ocupan menor espacio?

**PLANCK:** Esas historias circulan casi siempre cuando se trata de nombres familiares para el público. Realmente, Kepler es un

ejemplo magnífico de lo que acabo de decir. fue siempre un hombre inflexible, tuvo que sufrir desilusión tras desilusión, e incluso se vió en la necesidad de mendigar el pago de los atrasos de su sueldo al Reichstag de Regensburg. En fin, sufrió el tormento de tener que defender a su propia madre, que había sido acusada públicamente de brujería. Pero estudiando su vida es posible darse cuenta de que la fuente de sus energías inagotables y de su capacidad productiva se encontraba en la profunda fe que tenía en su propia ciencia, y no en la creencia de que eventualmente lograra llegar a una síntesis aritmética de sus observaciones astronómicas; es decir, su fe inextinguible en la existencia de un plan definido oculto tras el conjunto de la creación. La creencia en ese plan le aseguraba que su tarea era digna de ser continuada, y la fe indestructible en su labor iluminó y alentó su árida vida. Comparémoslo con Tycho de Brahe. Brahe tenía entre sus manos el mismo material que Kepler e incluso mejores oportunidades, pero se limitó a ser un investigador, pues no poseía la misma fe en la existencia de las leyes eternas de la creación. Brahe, repito, fue sólo un investigador, mientras Kepler fue el creador de la nueva astronomía.

Otro nombre que se me ocurre a este respecto es el de Julius Robert Mayer. Sus descubrimientos fueron difícilmente conocidos, ya que a mediados del último siglo había una gran dosis de escepticismo, incluso entre las gentes educadas, acerca de las teorías de la filosofía natural. Mayer se mantuvo firme, no por lo que había descubierto o podía probar, sino gracias a sus férreas creencias. fue

tan sólo en 1869 cuando la Sociedad de Físicos y Médicos Germanos, con Helmholtz a la cabeza, reconoció la obra de Mayer.

**MURPHY:** Muchas veces ha visto usted que el progreso de la ciencia consiste en el descubrimiento de un nuevo misterio, en el momento en que se supone que alguna cosa fundamental ha sido resuelta. La teoría de los cuantos nos ha enfrentado con el enorme problema de la causalidad, y, realmente, no me atrevo a pensar que la respuesta pueda ser muy categórica. Como es natural, es fácil observar que quienes se colocan en una posición definida, y afirman que no hay otra cosa que causalidad, son ilógicos, en el sentido de que no es posible demostrar ese juicio por los experimentos ni acudiendo para su defensa a los dictados directos de la conciencia y del sentido común. Pero en cualquier caso me parece que la tarea más difícil de los deterministas es la de indicar la forma en que debe ser revisada la vieja fórmula de la causalidad para que pueda responder a las exigencias de la ciencia moderna.

**PLANCK:** Por lo que se refiere al descubrimiento de nuevos misterios, esto es indudablemente exacto. La ciencia no puede resolver los misterios esenciales de la naturaleza, y ello es debido, en último análisis, a que formamos parte de ella y, por tanto, del misterio que intentamos resolver. Hasta cierto punto, la música y el arte son también ensayos para resolver, o al menos para expresar el misterio. Pero, en mi opinión, cuanto más progresamos, mayor es la armonía en que nos ponemos con toda la naturaleza. Y éste es uno de los más grandes servicios que la ciencia ha prestado al individuo.

**MURPHY:** Goethe decía que el más alto perfeccionamiento que la mente humana puede alcanzar es la aptitud para poder admirar los fenómenos elementales de la naturaleza.

**PLANCK:** Sí, nosotros siempre nos enfrentamos con lo irracional. Además, no podemos tener fe. Y si no tuviéramos fe, pero pudiéramos resolver todos los enigmas de la vida por la aplicación del razonamiento humano, la vida sería una insoportable carga. No tendríamos arte ni música ni cosas maravillosas, y tampoco tendríamos ciencia. No sólo porque la ciencia perdería su principal atracción para sus propios cultores —la persecución de lo incognoscible— sino también porque la ciencia perdería la piedra angular de su propia estructura, que es la percepción directa por la conciencia de la existencia de la realidad externa. Como Einstein ha dicho, no puede existir un hombre de ciencia si no conoce que el mundo externo existe en realidad; pero ese conocimiento no es obtenido por ningún proceso de razonamiento. Es una percepción directa, y, por tanto, afín en su naturaleza a lo que denominamos fe. Es una creencia metafísica. El escepticismo se refiere a la religión, pero también existe con respecto a la ciencia. De todos modos, puede decirse en favor de la física teórica que es una ciencia muy activa que excita la imaginación de los profanos. En ese sentido es capaz, en cierto grado, de satisfacer el hambre metafísica que en la actualidad ya no es capaz de satisfacer la religión, pero es posible que así se estimule indirectamente la reacción religiosa. La ciencia, como tal, jamás podrá ocupar el lugar de la religión: hecho ya explicado en el penúltimo capítulo de esta obra.

**MURPHY:** Y ahora ocupémonos de la segunda parte del problema, o sea el sentido en que hay que revisar la fórmula tradicional del principio de causalidad. Einstein nos habla acerca del desarrollo de nuestra facultad de perfección a medida que la ciencia avanza.

**PLANCK:** ¿Qué es, en realidad, lo que ha querido decir con estas palabras?

**MURPHY:** Es posible que yo pueda explicarlo mejor a mi modo. Sirvanos de ejemplo el moderno fenómeno de la velocidad. Hace cincuenta años la velocidad media de locomoción era la de un caballo al trote. Ahora es incluso mayor que la del ferrocarril. Tomando como cifra la media aritmética entre las velocidades que desarrollan el ferrocarril, el automóvil y el aeroplano, podemos decir que es la de 100 kilómetros por hora, en lugar de diez como era en los días de la locomoción a sangre.

Recordará usted la época en que las bicicletas comenzaron a popularizarse. Toda clase de gente, niños y mujeres, circulaban por las carreteras día tras día. Ahora no podría usted correr con una bicicleta tras de alguna persona, pues rápidamente quedaría rezagado.

Recordará usted que cuando los automóviles comenzaron a transitar por las carreteras, los caballos temblaban de espanto. Ahora incluso los caballos han desarrollado sus facultades para armonizar sus percepciones con la idea de la nueva velocidad. No hay, pues, duda de que la humanidad moderna ha desenvuelto alguna facultad respecto a este nuevo fenómeno de la velocidad. Creo que una cosa semejante es lo que ha querido decir Einstein, y

que los científicos del futuro tendrán percepciones más agudas que los de hoy día. Por otra parte, dispondrán también de más delicados instrumentos. Pero lo que nosotros necesitamos desarrollar son las facultades perceptivas mismas. Puede ser que una estirpe de hombres de ciencia educados en el laboratorio sea capaz finalmente de percibir en la naturaleza las profundas y diversas operaciones de la causalidad, lo mismo que el gran genio musical percibe armonías internas en las que el profano ni siquiera sueña, y lo mismo que el melómano percibe más agudamente la belleza de una estructura sinfónica de Beethoven de lo que puede hacerlo el campesino, habituado tan sólo a sus sencillas melodías populares. El desarrollo de los poderes de percepción, por tanto, es una de las principales tareas que tenemos que acometer. Esta parece ser la idea de Einstein.

**PLANCK:** Seguramente es así. No hay duda de que el estado en que ahora se halla la física teórica está más allá de las facultades medias humanas, e incluso más allá aún de las facultades de los grandes descubridores. Lo que sin embargo debe usted recordar es que, aunque progrese rápidamente en el desarrollo de nuestros poderes de percepción, seremos incapaces finalmente de descifrar el misterio de la naturaleza. Podremos ver quizá la operación de la causalidad en las más finas actividades de los átomos, lo mismo que, sobre la antigua base de la fórmula causal de la mecánica clásica, podemos percibir y construir imágenes materiales de cuanto sucede en la naturaleza.

En la actualidad la discrepancia no radica entre la naturaleza y el principio de causalidad, sino más bien entre la imagen que hemos formado de la naturaleza y la realidad de la naturaleza misma. Nuestra imagen no está en perfecto acuerdo con los resultados de la observación, y, como ya he dicho repetidas veces, el problema del progreso de la ciencia es lograr un acuerdo más exacto. Estoy convencido de que podremos llegar a este acuerdo, no rechazando la causalidad, sino ampliando la fórmula y refinándola para que pueda acomodarse a los modernos descubrimientos.

**Autor****Max Planck**

(Ernst Karl Ludwig Planck; Kiel, actual Alemania, 1858) Físico alemán. Dotado de una extraordinaria capacidad para disciplinas tan dispares como las artes, las ciencias y las letras, se decantó finalmente por las ciencias puras, y siguió estudios de física en las universidades de Múnich y Berlín.



Tras doctorarse por la Universidad de Múnich con una tesis acerca del segundo principio de la termodinámica (1879), fue profesor en las universidades de Múnich, Kiel (1885) y Berlín (1889). Enunció la ley de Wien (1896) y aplicó el segundo principio de la termodinámica, formulando a su vez la ley de la radiación (ley de Planck, 1900). Durante ese año, logró deducir dicha ley de los principios fundamentales de la termodinámica, para lo cual partió de dos suposiciones: por un lado, la teoría de Ludwig Boltzmann, según la cual el segundo principio de la termodinámica tiene carácter estadístico, y por otro, que el cuerpo negro absorbe la energía electromagnética en cantidades indivisibles elementales, a las que dio el nombre de quanta (cuantos). El valor de dichos cuantos debía ser igual a la frecuencia de las ondas multiplicada por una constante universal, la llamada constante de Planck. Este

descubrimiento le permitió, además, deducir los valores de constantes como la de Boltzmann y el número de Avogadro.

La hipótesis cuántica de Planck supuso una revolución en la física del siglo XX, e influyó tanto en Albert Einstein (efecto fotoeléctrico) como en Niels Bohr (modelo de átomo de Bohr). El primero concluyó, en 1905, que la única explicación válida para el llamado efecto fotoeléctrico consiste en suponer que en una radiación de frecuencia determinada la energía se concentra en corpúsculos (cuantos de luz, conocidos en la actualidad como fotones) cuyo valor es igual al producto de la constante de Planck por dicha frecuencia. A pesar de ello, tanto Planck como el propio Einstein fueron reacios a aceptar la interpretación probabilística de la mecánica cuántica (escuela de Copenhague). Sus trabajos fueron reconocidos en 1918 con la concesión del Premio Nobel de Física por la formulación de la hipótesis de los cuantos y de la ley de la radiación.

Falleció en Gotinga, Alemania, en 1947

**F I N**