

## LA TEORIA DE LA RELATIVIDAD

Por E. J. GUMBEL

---

*La Revista de la Universidad ha solicitado al autor, que pertenece a los círculos allegados al Profesor Einstein, una breve exposición sobre la teoría de la relatividad, que se publica a continuación y que debe ser considerada como auténtica.*

*(Traducción del alemán por la Dirección de la Revista).*

---

### 1—INTRODUCCION

La teoría de la relatividad nada tiene de místico; no es una negación de la ciencia que actualmente prevalece; no es tampoco una afirmación de ninguna ciencia oculta; es una teoría de carácter físico, nacida sobre el terreno de la física actual y nutrida con sus elementos; nada, absolutamente nada en ella confirma un orden de supuestos conocimientos secretos de tiempos anteriores, o afirmaciones astrológicas, míticas o metafísicas. El camino hacia ella se orienta sobre las más profundas exploraciones de la física y nada más que sobre ellas. El que le suponga fuerzas misteriosas, o espere una negación de la ciencia, no debe, pues, preocuparse de la misma.

Hay en las bases fundamentales de nuestras ciencias de la naturaleza, una ley de la causalidad: nada acontece sin causa. Esto es válido, desde luego, para la teoría de la relatividad; la acción de una divinidad personal, extraordinaria, es tan desechada en ella como en cualquier otra ciencia positiva. Todo es natural en sus concepciones. El que quiera contemplar en la teoría de la relatividad una confirmación de aquel absurdo aserto de la «bancarrotada de la ciencia», quedará desengañado, pues la teoría que nos ocupa representa la más alta cúspide que la física haya escalado hasta ahora.

Como queda dicho, es ella una teoría física. Trata de asuntos que la física considera; desde luego el tiempo, en cuanto está sujeto a mensura, la longitud, la velocidad, las fuerzas

que actúan en los campos eléctricos, magnéticos, etc. Nada expresa en sí sobre la relatividad filosófica. La expresión de Protagoras «el hombre es la medida de todas las cosas», y el solicismo que de él se deduce, no es por ella afirmado. Pero a pesar de esto la teoría de la relatividad tiene un significado filosófico. Para reconocerlo debemos esbozar brevemente su contenido físico.

La teoría de Einstein comporta una recurrencia a las bases fundamentales de la física. Su objetivo es, sin embargo, no solo confirmar y afianzar conocimientos ya adquiridos, sino también alcanzar nuevos conocimientos y consecuencias que de ellos se derivan. Nos conduce simultáneamente «hacia atrás», para el examen de los fundamentos y «hacia adelante», para nuevas deducciones. En el progresivo desarrollo de la ciencia, nuestros conocimientos son sucesivamente mejor objetivados. La relación del mundo interior, del «yo» con el exterior, es desplazada cada vez más en el desarrollo de la ciencia hacia este último. En la física antigua la apreciación de los sentidos juega un rol mucho más importante que en la moderna. La antigua división de la física se efectuaba de acuerdo con la percepción de los sentidos; era dividida por las percepciones de la vista, del oído, por la sensación del calor, etc. Diversas manifestaciones son consideradas como enlazadas y armónicas por las realidades que les sirven de base. La teoría acústica es ahora un capítulo de la mecánica, de las pequeñas vibraciones sonoras ponderables. La teoría óptica y calorífica es hoy un capítulo de la electrodinámica y óptica, en el cual se trata en general de las vibraciones del éter. Estas manifestaciones electromagnéticas abarcan en general vibraciones de cualquier longitud de onda. Comprenden desde los más pequeños rayos de las substancias radioactivas (un cien millonésimo de milímetro) hasta las mayores ondas hertzianas (muchos kilómetros). En relación con este gran dominio de las longitudes de ondas está aquel reducido campo sobre el cual nuestro órgano visual reacciona en una forma infinitamente pequeña. Exactamente en esta dirección emprendida por la física clásica, de la simplificación de nuestro cuadro del universo, nos conduce más lejos la teoría de la relatividad. Al lado de una «objetivación» es colocada una «relativación». Por medio del progreso de los conocimientos científicos son transformados los conceptos absolutos en relativos. Por ejemplo, las nociones «arriba», «abajo», según la representación de que la tierra era un disco, constituían un algo absoluto. Con el descubrimiento de la forma esferoidal de la tierra estos conceptos se hicieron relativos, vale decir, se refirieron a un determinado

punto de vista sobre el planeta. Según la teoría de Ptolomeo, la tierra ocupaba una posición central absoluta, en el universo. Copérnico substrajo a la tierra de esta posición absoluta. La incorporó a los otros planetas que jiran alrededor del sol. Pero también éste perdió su posición absoluta. Tuvo movimientos frente al sistema estelar fijo. Hasta Newton la pesantez era también algo absoluto. Este sabio descubrió la gravitación universal, y la pesantez fué relativada como una acción recíproca de los cuerpos. Sin embargo, la inercia de los cuerpos se conserva también con Newton como algo absoluto. Newton postulaba el espacio absoluto para explicar esta inercia. Pero ello estaba en oposición a la tendencia general newtoniana, en el sentido de aceptar solo lo observable y lo basado en los hechos. La teoría de la relatividad,—por así decirlo—«relativa» también los conceptos fundamentales de la física,—tiempo y espacio,—y los lleva al campo de los fenómenos observables. Hasta la física clásica conoce un principio de relatividad. Este afirma que no existe solo *un* sistema de coordenadas que sea verdadero para las ecuaciones de la mecánica, sino infinitamente muchos. Para nosotros todos estos sistemas de coordenadas se mueven sin embargo del mismo modo unos respecto de otros. Ellos surgen de entre el conjunto según la transformación Galileica, así llamada por el descubridor de la ley de inercia. El tiempo es, empero, el mismo en todo sistema galileico. Un observador en movimiento uniforme jamás puede determinar por mensuras mecánicas su propia velocidad. Según este principio no es posible afirmar desde ningún punto del espacio que éste se encuentra en reposo absoluto. Antes al contrario, en toda velocidad, aún en la velocidad *cero*, queda indefinida una constante aditiva; asimismo queda en la energía cinética—la fuerza viva—una expresión aditiva indeterminada.

## 2—LA TEORIA ESPECIAL DE LA RELATIVIDAD

El principio einsteiniano de la relatividad se distingue del clásico por dos características. Primeramente entra en consideración, en vez de la transformación galileica, que solo cambia las coordenadas, dejando invariable el tiempo, una nueva: la de Lorentz, en la cual no solamente las coordenadas, sino también el tiempo experimentan variación al pasar de un sistema al otro; en segundo lugar se determina la constante aditiva en la fuerza viva como energía de la masa. En el fondo toda la teoría de la relatividad ha sido extraída de las mara-

villosas propiedades de la transformación lorentziana. A continuación se dan los orígenes de estas teorías.

De la física clásica pareció desprenderse la conclusión de que no podía existir sino un sistema de referencia, en el cual se esparce la luz con la misma velocidad en todas direcciones. Como la constancia de la velocidad de la luz era para nosotros un hecho incuestionable, estaba dada la posibilidad de demostrar por medio de un experimento óptico apropiado el movimiento absoluto de la tierra. Michelson discurrió este experimento, lo realizó, y llegó a un fracaso. No era, pues, posible demostrar frente a este sistema absoluto de coordenadas—el espacio absoluto—el movimiento de la tierra. Esta contradicción entre las exigencias de la física y el experimento lo ha resuelto Einstein demostrando que no existe un tiempo absoluto. De acuerdo con este principio de relatividad los factores del tiempo, mediante los cuales se determina un suceso físico, no son más absolutos sino que dependen de la posición del observador. El principio de la constancia de la velocidad de la luz se conserva y sirve para determinar el tiempo relativo. Aquí ya no existe un sistema preferido de coordenadas. En el paso de un sistema al otro que se mueve uniformemente frente a aquél, no solamente variarán los datos de la longitud sino también los del tiempo. Este es el contenido esencial de la llamada teoría especial de la relatividad: *el tiempo es diferente en sistemas de coordenadas diferentemente movidos*. Con ello pierde su importancia el concepto de la simultaneidad; pues sucesos o fenómenos que con relación a un observador se producen al mismo tiempo, no son ya simultáneos con referencia a otro observador que se mueve respecto de él. Pero esta relativación del tiempo no va, naturalmente, tan lejos que toda coordinación fundamental entre causa y efecto pueda invertirse de un sistema de coordenadas a otro.

La teoría especial de la relatividad quita, pues, al tiempo su carácter absoluto. Determina el tiempo por el fenómeno físico de la propagación de la luz. Pero como este fenómeno se produce con extrema rapidez y debe ser referido del mismo modo a un sistema de coordenadas, el tiempo dependerá del sistema mismo. La velocidad de la luz tiene un rol destacado como velocidad-límite que la velocidad de un punto material no puede alcanzar. Mientras en la física clásica se adicionan velocidades con ayuda de un paralelogramo, en la teoría de la relatividad se emplea otro método de adición. Tal método impide que se produzca el caso de alcanzar super-velocidades a la de la luz. Este teorema permite interpretar de un modo sencillo el ensayo de Fizeau. Según el mismo, la luz solo to-

ma parte con una fracción de la velocidad de fluición en el movimiento de un líquido fluyente.

Si se pudiera obtener por algún hecho físico un tiempo absoluto, la velocidad de propagación del fenómeno deberá ser infinitamente grande. Pero un tal fenómeno comporta solo una acción a la distancia en el sentido newtoniano. El tiempo absoluto de Newton y la acción remota se hallan—bien que insospechadamente para el mismo Newton—en recíproca correspondencia. Exactamente como el tiempo y el espacio absolutos, es también la acción newtoniana a la distancia algo extremadamente abstracto. La vida diaria solo nos proporciona experiencias de tales acciones, que se producen por contactos y choques entre dos cuerpos. La acción a la distancia violenta a la lógica humana y fué desde luego suprimida en la física—particularmente en la Electrodinámica—para sustituirla por la acción a corta distancia. El portador de esta acción en los fenómenos electromagnéticos fué el éter. Tuvo que transponer para ello una serie de abstracciones. Con Maxwell no estaba dotado de propiedades puramente mecánicas. Por medio de Hertz obtuvo, además de las mecánicas, propiedades esencialmente electromagnéticas. Lorentz le canceló todas sus cualidades mecánicas. Le quedaron solamente las propiedades geométricas de un espacio de referencia inmóvil. Por medio de la teoría de la relatividad el éter fué también desprovisto de este atributo geométrico. El estado de las magnitudes del campo y el campo mismo es lo que propiamente existe. Lo físico es justamente lo que tiene realidad.

Un cuerpo en movimiento experimenta, según la teoría de la relatividad; una contracción en el sentido del movimiento; es la contracción lorentziana, vale decir, se hace más pequeño. Esto desde el punto de vista de un observador en reposo. Pero esto mismo le acontece al observador inmóvil, si se lo contempla desde el móvil, pues para el observador en movimiento se halla él mismo en reposo y el inmóvil en movimiento. Un reloj que se mueve anda más lentamente que otro en reposo; pero el poseedor del reloj que cambia de lugar puede afirmar en buena lógica que el reloj «en reposo» marcha más lentamente que el suyo, pues para él se mueve el que está en reposo.

En todo caso estos distingos no son tan considerables que puedan jugar un rol apreciable en la vida práctica, pues ellos solo son de la magnitud  $1:\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$ . En esta fórmula representa  $c$  la velocidad de la luz,  $3.10^{10}$  Km. por segundo, y  $v$  la velocidad de la tierra. Como en general todas las velocidades te-

restres son extraordinariamente pequeñas respecto de  $c$ , prácticamente nada se altera. Recién para los problemas astronómicos aparece la importancia positiva de la teoría de la relatividad. La transformación lorentziana conduce también al principio de Doppler, en virtud del cual las líneas espectrales de una fuente luminosa en movimiento, experimentan un desplazamiento hacia el rojo o violeta, según que la fuente se mueva hacia el observador o en sentido contrario. Mientras que hasta ahora en las ecuaciones de la física el tiempo siempre ha desempeñado un rol destacado, junto con las tres coordenadas de un punto del espacio, tienen en ella tiempo y espacio, vale decir las tres coordenadas del espacio y las coordenadas del tiempo una importancia completamente equivalente.

El tiempo es, pues, una especie de cuarta dimensión; y de aquí nace un *continuum* de tiempo y espacio tetradimensional, que con Minkowski llamamos el *Universo*. Por medio de la introducción de una nueva variable logramos concebir la transformación lorentziana como un simple giro del sistema de los ejes de este espacio de cuatro dimensiones.

Un punto en este cuadro tetradimensional se llama un punto del universo y toda la mecánica se simplifica por los datos de la variación de este punto, de la línea del universo. La forma de tal línea y la longitud del elemento de la misma, son independientes de la elección del sistema de referencia. Según la definición de Newton, fuerza es igual a masa por velocidad. Si se introduce el concepto del impulso igual a fuerza por velocidad, se puede sentar: la fuerza es igual a los cocientes diferenciales del impulso según el tiempo. Este principio del impulso perteneciente a la mecánica clásica es válido también en la teoría de la relatividad, pero con una restricción importante: la representación clásica de la constancia de la masa debe ser abandonada. La masa se convierte en una función de la velocidad, es decir este principio fundamental y concepto aparentemente absoluto, también es «relativado». Pero igualmente aquí la variación es nuevamente del mismo orden de magnitud antes mencionado, siendo por lo tanto asimismo sin influencia sobre la vida práctica, en tanto que la velocidad del punto de masa permanezca pequeña ante la velocidad de la luz. Con esto toda la mecánica clásica se convierte en un caso especial de la relativista. No es, pues, de extrañar que la mecánica clásica haya resuelto una serie de problemas con la exactitud que necesitamos.

Pero el aumento de la masa con velocidad creciente que se sigue de la teoría de la relatividad ha sido recientemente demostrada en forma experimental por observación de los ex-

traordinariamente veloces rayos  $\beta$ . Una segunda brillante confirmación de la teoría de Einstein ha sido proporcionada en reciente data por el descubrimiento de la estructura fina de las líneas espectrales, es decir por el hecho de que dichas líneas no son simples sino compuestas de un conjunto de varias otras.

Tampoco el principio de la conservación de la energía no desaparece con la teoría de la relatividad. Pero también debemos transformarlo. La fuerza viva no queda simplemente como un producto de la masa por el cuadrado de la velocidad; antes bien entra en juego una expresión más complicada, que conduce a la incorporación de otros miembros a su propia expresión. La energía propia de un cuerpo móvil es igual ahora a la masa propia por el cuadrado de la velocidad de la luz. Frente a esta expresión, la energía cinética de la física clásica es infinitamente pequeña. La constante que aparece en dicha física al determinar la fuerza viva, queda así también determinada. A cada energía debemos entonces atribuirle una determinada masa, y a cada masa una energía propia. Y así los principios de la conservación de la energía y de la masa, están refundidos en uno solo en la teoría de la relatividad. Este principio de la inercia de la energía se ha hecho fundamental para la nueva teoría atómica. Y talvez se halle aquí el punto de partida para la obtención de una nueva energía, que sea inauditamente superior a todas las energías de que ahora disponemos. Pero no reconocemos hoy por hoy una posibilidad para su obtención.

### 3--LA TEORIA GENERAL DE LA RELATIVIDAD

Por medio de la teoría especial de la relatividad el concepto del reposo absoluto ha perdido toda su importancia; pero el concepto del movimiento absoluto no ha sido completamente suprimido, pues equivalentes son por ahora solamente dos sistemas que se mueven en igual forma uno respecto del otro. Existe pues una gran cantidad de excelentes sistemas que se mueven recíprocamente en línea recta. No hay entonces ninguna velocidad absoluta, pero sí pudiera hablarse de aceleración o rotación absolutas. Aquí llega la teoría general de la relatividad, que abarca a la especial como caso singular, para afirmar la equivalencia de todo sistema dado de coordenadas en la consideración de todos los fenómenos de la naturaleza. No solamente el movimiento rectilíneo uniforme, sino también todo movimiento es relativado. En el concepto de Einstein, ningún sistema de coordenadas será mejor que otro; antes

bien la elección del sistema es exclusivamente voluntario y para cada cual son valederas las leyes de la naturaleza. ¡Es ciertamente un pensamiento audaz!

Naturalmente esto es realizable cuando los fundamentos de la mecánica y de la electricidad (en ellos está en definitiva concentrada toda la física) adopten nuevas, aunque más complicadas fórmulas. Pero no se debe olvidar respecto de estas complejas fórmulas—que por cierto no puedo hacer desfilar aquí,—que los pensamientos fundamentales de la teoría de la relatividad son extraordinariamente simples. El punto de partida es el principio de la equivalencia. Este dice: no es posible decidir por ninguna observación si en un espacio impera un campo de gravitación homogéneo, o si este espacio se mueve con una aceleración igual o contraria a la aceleración gravitacional absoluta en el sentido newtoniano. Por medio de este principio se explica la igualdad de masa inerte y pesada, que en la física actual solo era conocida empíricamente. La masa inerte queda definida como la relación constante entre una fuerza que actúa sobre un cuerpo y la aceleración provocada por la misma. Así se define también la masa, unidad por la acción de la unidad de fuerza y la unidad de aceleración. Por otra parte puede establecerse la masa de los cuerpos, examinando cómo varía una fuerza de tracción en una determinada masa en el campo de gravitación respecto de la unidad de masa. A la cifra correspondiente se la califica por la masa pesada. La equivalencia de ambas es conocida de la física, pero solo por la teoría de la relatividad adquiere una importancia profunda.

Un nuevo paso de extraordinaria trascendencia da la teoría de la relatividad en cuanto conmueve en sus fundamentos a la geometría euclidiana. Esta era aceptada hasta ahora como la única posible concepción de los hechos del mundo real. Con el abandono de la geometría euclidiana le ha sido dado a Einstein concebir el principio de la gravitación como una generalización del principio de Galileo.

Si se parte de un espacio de dos dimensiones (el espacio real es tridimensional), puede apreciarse fácilmente la diferencia entre la geometría euclidiana y una no-euclidiana. La geometría euclidiana es la geometría sobre un plano. Una no euclidiana está representada por la geometría sobre una superficie esférica. Mientras sobre un plano una recta es una longitud abierta, en la esfera el concepto correspondiente es la línea geodésica cerrada. La línea geodésica está así definida por la más corta distancia sobre una superficie. Lo mismo que aquí hablamos de una superficie curva, Gauss y Riemann

han considerado un espacio curvo de tres dimensiones. Naturalmente que este no es representable, si bien puede ser tratado matemáticamente. Y ha sido realmente una gran ventaja para la teoría de la relatividad que Gauss y Riemann en parte ya desarrollaran sus teorías y que Einstein haya podido dar un significado físico a estas abstracciones matemáticas.

La teoría general de la relatividad realiza, pues, un profundo análisis del concepto sobre el espacio. El universo tetradimensional de Minkowski, la idea del espacio y del tiempo, tenía todavía un carácter euclídico. La teoría general de la relatividad enseña que ello no tiene más que un valor aproximativo. El euclidismo solo es aceptable cuando se trata de muy pequeños dominios. Esto significa que el espacio,—el mundo—posee en cada uno de sus puntos un espacio tangencial euclídico, lo mismo que una superficie curva común posee en cada punto una superficie euclídica para cada superficie tangencial. Pero un espacio limitado—o mundo—no es forzoso que sea euclídico. La geometría del espacio es en sí misma indeterminada. El pensamiento genial de Einstein es relacionar la curvatura del mundo tetradimensional con la repartición de la masa. La geometría pasa a ser una parte de la física; recién se determina por medio de la materia. La materia engendra un campo de gravitación. El espacio—el mundo—es precisamente el «campo». La geometría del espacio es una teoría de tal campo. Por ella son determinadas tanto la geometría como la gravitación; enseña, pues, también cómo se determina el campo por medio de la materia. Según esto la teoría general de la relatividad va más lejos en la ya comenzada relativación por la física clásica, que la relatividad especial. Ella relativiza también el espacio. Del mismo modo que la física ha reemplazado por la acción a corta distancia la acción lejana, también vendrá en lugar de una geometría euclidiana de larga distancia, una geometría infinitesimal. El camino vital de un punto material será representado por una línea del universo. Solamente los puntos de intersección de estas líneas tienen una realidad física. Tiempo y espacio no la tienen. Todos son solamente esquemas vacíos, en los cuales ordenamos los fenómenos. En la teoría general de la relatividad son puestos en íntima unión el tiempo, el espacio y la materia.

Einstein generaliza el principio de la inercia, que al mismo tiempo representa la ley de la gravitación, y que ahora expresa: cada punto de masa, sobre el cual no actúan fuerzas electromagnéticas, se mueve de tal modo que su línea es siempre geodésica en el mundo minkowskiano, curvado por la ma-

teria. En un punto determinado es, pues, determinada la curvatura por una función de la materia allí existente. Una grotesca conclusión de esta teoría reza: nosotros no podemos decidir por ningún medio si la tierra gira alrededor del sol, como lo afirma Copérnico, o si sucede lo contrario, como lo afirman Ptolomeo y la ingenua representación del mundo. No obstante ello, no subsiste ninguna duda sobre cual representación merece la preferencia; naturalmente la que conduce a las leyes más simples del movimiento, es decir, la de Copérnico. Como un caso especial de la ley de gravitación einsteiniana se presenta naturalmente la de Newton. Si se contempla un espacio, en el cual las desviaciones con la geometría euclidiana solo son mínimas, y en el cual, como sucede en realidad, las velocidades mecánicas que se presentan son pequeñas frente a la velocidad de la luz, y además el campo de gravitación es estático,—vale decir que la métrica del espacio no varía espacialmente aunque varíe en el tiempo—se obtiene después de laboriosos cálculos como un caso especial de la teoría de la relatividad el principio newtoniano de la gravitación. Esto es naturalmente una previsión de que la teoría de la relatividad alcanzará una importancia práctica; pues los principios de Newton se han mantenido por lo menos como aproximadamente exactos en la vida práctica. De allí que toda nueva teoría física en el sentido newtoniano deba conducir a los mismos resultados. Este es el camino general de los progresos en la física. También cuando se pasó de la teoría de la emisión de la luz a la de la ondulación, y cuando se pasó de la concepción de Fourier del calor como cuerpo, a la actual, debían ser valederas para las nuevas teorías, todas las consecuencias prácticas que se derivaban de las viejas.

Pero los fundamentos positivos para la aceptación de una nueva teoría son otros: esta debe poder aclarar todas las desviaciones que la experiencia ha constatado frente a la teoría anterior; ello es valedero para la teoría de la ondulación y la concepción estática del calor, lo mismo que para la teoría de la relatividad. Una desviación de tal índole de la teoría de Newton, representa el ya conocido movimiento del perihelo de Mercurio. Este no es apreciable desde el punto de vista de la teoría de Newton. Ello representa ya un éxito de la teoría; pero aún más allá ha adelantado visiones proféticas, como toda verdadera ciencia. Y estas profecías han empezado a realizarse. De

acuerdo con la teoría de Einstein un rayo de luz, cuando pasa cerca de una masa pesada, es desviado de la línea recta, pues aquélla hace variar la métrica del campo. La posibilidad de una observación de este efecto la tenemos en un eclipse total de sol, pues en tal caso la luz emitida por una estrella pasa al lado del sol y por el hecho de estar este obscurecido, podemos ver la posición aparente de la estrella, mientras que en circunstancias normales ello no es posible. La comisión enviada a los mares del sur para la observación de un eclipse de sol ha comprobado de hecho una desviación de la carrera recta de la luz, vale decir, halló que la estrella se encontraba aparentemente en otra posición, a consecuencia de la variación producida por la masa del sol sobre el recorrido del rayo luminoso. Y esta desviación era exactamente igual al valor profetizado por Einstein. Tal comprobación debe considerarse como decisiva para la exactitud de la teoría general de la relatividad. Ya en la teoría clásica era incompatible el principio newtoniano de la gravitación con una ampliación especial infinita del mundo. Si estuviese el espacio infinito y uniformemente poblado de estrellas, debiera en cada lugar actuar una fuerza de atracción, de modo que un sistema solar estable no sería posible. Pero si se concibe el universo infinito en el espacio, siendo finito el número de estrellas, ello sería inaceptable desde el punto de vista de la teoría cinética de los gases. Estas dificultades son resueltas por la teoría de la relatividad, en tanto que acepta un mundo finito pero sin límites. El ejemplo de la esfera nos permite representar esta concepción, pues la superficie de este cuerpo es finita pero no tiene límites. Exactamente lo mismo, según la teoría de la relatividad, el espacio de tres dimensiones es la superficie finita pero ilimitada de un espacio tetradimensional.

#### 4—EL SIGNIFICADO FILOSOFICO DE LA TEORIA DE LA RELATIVIDAD

Como toda ciencia natural la teoría de la relatividad se dirige contra el racionalismo puro, es decir, contra la filosofía de la identidad, que enseña el conocimiento de los hechos naturales por medio del raciocinio exclusivo. Así por ejemplo Hegel ensayó derivar «apriori» las leyes de Kepler, y Schopenhauer pensaba que el principio de la conservación de la ener-

gía era comprensible por sí mismo. Frente a ello enseña la teoría de la relatividad, en consonancia con toda la física, que solamente la experiencia es el fundamento de nuestro saber. Toda teoría que tiene un significado filosófico debe naturalmente explicarse con Kant.

La afirmación esencial de Kant, que espacio y tiempo son premisas de nuestra visión del mundo, y que nada podemos afirmar respecto del mundo trascendental de los hechos, queda inmovible ante la teoría de la relatividad. Pero otras proposiciones de Kant, que se explican por el deficiente saber positivo de su tiempo, son francamente contradichas por ella.

Ante todo, cree Kant que para la física solo entra en consideración la geometría euclidiana de tres dimensiones. Hasta intentó demostrar esto en su estética trascendental. Pero de hecho no tiene existencia en la teoría de Einstein. Asimismo no existe aquel movimiento absoluto que Kant con Newton aceptó como causa de la fuerza centrífuga en la rotación.

«Se acostumbra a veces tomar la teoría de la relatividad en beneficio de una concepción positivista y presentarla en una determinada contraposición con la filosofía trascendental de Kant. Todo sin razón, pues el fundamento de aquella no reside en que todo espacio y tiempo tengan un significado dado por la relatividad respecto al observador, sino en la afirmación de que en el complejo espacio-tiempo tetradimensional, existe una magnitud—precisamente la distancia entre dos puntos infinitamente próximos, la llamada determinación de masa—que tiene el mismo valor para todos los observadores que la miden y para todos los sistemas que se utilicen y que, en consecuencia, es independiente de toda humana arbitrariedad» (Planck).

La teoría de la relatividad se dirige contra el materialismo, si se considera bajo esta denominación, que las leyes de la mecánica dominan a toda la física. Frente a ello los fenómenos electromagnéticos juegan un rol prominente, pues la transformación lorentziana nace de la exigencia de que la velocidad de la luz es la misma para todos los observadores. Su punto de partida es entonces un fenómeno electromagnético, y en vez de la noción de la materia, la idea del campo es en ella fundamental, mientras que la materia no es otra cosa que la degeneración del campo. Hasta culmina este concepto relativando a la masa misma.

Las precedentes consideraciones sobre el significado filosófico de la teoría de la relatividad solo han tenido un carácter negativo. Para reconocer su faz positiva es preciso mencionar en algunas palabras los rasgos metódicos esenciales de la misma.

Existen dos clases de ficciones espirituales. La una engendra principios, que deben subsistir ante la experiencia, y que son independientes de ella. Son los llamados principios metafísicos. Aún cuando sean quizás incitados por la experiencia, su fundamento no se encuentra en la misma. Son de creación puramente espiritual, y son sentidos como base de la experiencia. Ellos hacen posible recién el establecimiento de las leyes que la experiencia debe aclarar. Así, por ejemplo, nos permite el principio de la causalidad instituir leyes de la naturaleza. Pero nuestro espíritu también efectúa otra clase de ficciones.

La explicación de fenómenos naturales se verifica, bien por su referencia a hechos más simples, para los cuales ya hemos obtenido representaciones menos complejas en el mundo exterior y que ya se han convertido en intuiciones para nosotros,—ello significa una explicación intuitiva de los fenómenos,—o bien, y más propiamente, por medio de una ordenación y encañamiento de ideas, de conceptos, con las manifestaciones exteriores, para enlazarlas por medio de leyes entre sí. Las leyes de la naturaleza, mediante estas imágenes, tienen una forma estricta y exacta, puesto que la imagen es algo exacto. Pero como la experiencia es en sí algo impreciso y solo tiene un carácter aproximativo, puede formularse la interrogación: ¿cómo es posible atribuir a las leyes un valor de exactitud cuando las experiencias que les sirven de base no lo tienen? Solo puede ser nuestro espíritu quien confiera a las leyes un carácter absoluto y exacto. Pero esta es una segunda clase de ficción.

Por medio de la ficción de la absoluta validez de las leyes obtiene nuestro espíritu una satisfacción interior y un acrecentamiento de posibilidades especulativas, por medio de las cuales es posible la obtención de otras nuevas leyes. Naturalmente estas deben ser sometidas a su vez a las comprobaciones de la experiencia.

Ahora bien, el rasgo característico del método de la teoría de Einstein es que por una parte desecha los principios metafísicos, por ej. el tiempo y el espacio absolutos de Newton. Por otra, acentúa la segunda clase de ficciones y las leyes tie-

nen para ella una validez absoluta. Exalta algunas leyes a la categoría de principios, por ej. el de la constancia de la velocidad de la luz, el principio de la relatividad, el principio de la equivalencia, vale decir la identidad entre portador y masa pesada. Mediante estos principios alcanza un fundamento para las leyes físicas. Lo conceptual.—v. gr., los estados de magnitud del campo,—tiene una existencia independiente. Por otra parte, ella niega la intuición como fuente del conocimiento. Así, por ej., dos espacios que se mueven uno respecto del otro en línea recta y en la misma forma, no son intuitivamente ambos simultáneamente isótropos. Pero según la teoría de la relatividad lo son, sin embargo. Ella analiza el concepto intuitivo de la simultaneidad; desecha el éter intuitivo. Mach ha presentado el primer rasgo característico de la teoría de Einstein como una negación de los principios metafísicos. Mach solo quiere atenerse a hechos observables. Pero para él las leyes son exclusivamente una reproducción de las observaciones y tienen para ello solo un valor aproximativo. Por esta circunstancia las ideas de Mach solo han obrado desde luego en el sentido de la crítica. Recién por medio del segundo rasgo característico de la teoría de la relatividad—por la elevación de las leyes a la escala de los principios de valor general—ha logrado erigir una construcción física en reemplazo del viejo edificio destruido por la crítica. Pero ella se diferencia de otras teorías positivas, por ej., de la de Lorentz—la teoría del éter con la hipótesis de la contracción—cuyo contenido es quizás físicamente, solo equivalente en la electrodinámica a la teoría restringida de Einstein. Se separa de esta en la faz teórica del conocimiento: mientras Lorentz se vale de representaciones intuitivas,—éter en reposo, contracción de un cuerpo en movimiento,—Einstein edifica su teoría sobre principios generales. En tanto que el tiempo local en Lorentz es un recurso de arte, se convierte en Einstein en una realidad física. Los dos principios, el de la relatividad y el de la constancia de la velocidad de la luz, que intuitivamente son incompatibles, se armonizan por medio de un severo análisis del concepto del tiempo. La determinación del tiempo se verifica de tal manera que la constancia de la velocidad de la luz permanece inalterable. No es pues, un simple asunto de definición; antes bien son necesarios para esta realización determinadas premisas físicas.

Aparte de ello, tiene la teoría de la relatividad un ponde-

rable valor para el descubrimiento de nuevas leyes. Ya las leyes naturales del mundo tetradimensional de tiempo y espacio de Minkowsky, deben asumir tal forma que el mismo no se altera cuando de un sistema justificado de coordenadas se pasa justificadamente a otro. De este modo se restringe la arbitrariedad en el establecimiento de leyes naturales. Se puede atribuir a todas las leyes naturales posibles y venideras una determinada propiedad. Minkowski ha contemplado espacio y tiempo conjuntamente como un mundo tetradimensional. De tal manera las leyes naturales llegan a ser simétricas en el tiempo y en el espacio. La teoría de la relatividad penetra todos los dominios de la Física, Mecánica, Electrodinámica, Termodinámica, etc. Lleva en sí la tendencia de unificar las leyes de la naturaleza. Y si se quisiera resumir en una palabra la teoría generalizada de la relatividad, se diría que es la teoría absoluta de la validez de las leyes naturales.

---