

LOS CONCEPTOS DE ESPACIO Y TIEMPO  
DE LA TEORIA DE LA RELATIVIDAD  
CONTRASTADOS CON LA FILOSOFIA  
DE FRANCISCO SUAREZ

ARTURO JUNCOSA CARBONELL, S. I.

UNIVERSIDAD DE BARCELONA

Algunos filósofos no han vacilado en afirmar que la teoría de la relatividad era el relativismo aplicado a la Física. Para probar su apreciación han aducido algunas expresiones de EINSTEIN —de otros físicos no nos ocuparemos aquí—, que pueden inducir a confusión: así, por ejemplo, la afirmación de que no se puede hablar de la trayectoria de un móvil, de que en la realidad no es válida la ley de composición de velocidades, etc. Con su acostumbrada brillantéz ha dicho ORTEGA Y GASSET frases como la siguiente: “Para la física de EINSTEIN, nuestro conocimiento es absoluto, la realidad es la relativa.”

Para ver si aquellas aprensiones son justificadas y, sobre todo, para ver si se puede admitir lo filosófico que hay en la teoría de la relatividad, vamos a someter a ésta a una dura prueba: a ser examinada por la filosofía que mejor ha sabido armonizar, a nuestro parecer, lo sensible y lo ideal: la filosofía escolástica, que al no apoyarse en teorías científicas, sino en la observación cierta de las cosas, podemos considerarla como adecuado instrumento de trabajo. Entre los filósofos escolásticos nos ha parecido muy digno de tenerse en cuenta SUAREZ. El llega, efectivamente, al campo escolástico en una época de intenso renacimiento. Las grandes aportaciones medievales son sometidas por él a una aguda crítica y sin integrarse en ninguna escuela, tiene la suficiente libertad de espíritu para seguir sus propios derroteros. Además, en este problema, no se aparta SUAREZ en lo esencial del sentir común de los filósofos escolásticos.

Some philosophers have had no hesitation in asserting that the Theory of Relativity is relativism as applied to physics. To prove such an interpretation, they have produced some statements of EINSTEIN'S, which can lead to confusion, for instance, his statement that it is not possible to determine the course of a mobile, or the one according to which the law of the composition of velocities does not hold. As brilliantly as ever, ORTEGA Y GASSET has said: “In EINSTEIN'S physics, our knowledge is absolute, but reality is relative.”

In order to determine if such misgivings are right, and especially, if the philosophical implications of the Theory of Relativity can be accepted, this paper tries to submit it to a hard test, i. e. to examine it in the light of that philosophy which has best balanced, as far as we can see, the realm of sense data and that of ideas, namely scholastic philosophy, which, not being based on scientific theories but on the true observation of things, can be considered as a useful tool.

Among scholastic thinkers, SUAREZ seems to be worthwhil considering.

In fact, he appears in scholasticism at a time of deep renaissance. All great mediaeval contributions are subjected by him to sharp criticism and, not having joined any definite school, enjoys enough freedom of thought to follow his own path. Moreover, in such problems, SUAREZ does not essentially disagree with common scholastic philosophy.

Einige Philosophen haben mit aller Sicherheit behauptet, die Relativitätstheorie sei auf die Physik angewandter Relativismus. Um ihre Meinungen zu beweisen, haben sie einige Ausdrücke EINSTEINS —mit anderen Physikern beschäftigen uns wir hier nicht— beigebracht, die irreführend sein können. Zum Beispiel die Behauptung, dass man von der Wurfbahn einer beweglichen Sache nicht sprechen kann, dass in der Wirklichkeit das Gesetz von der Geschwindigkeitszusammensetzung nicht gültig ist, u.s.w. mit seinem ihm eigenen stilistischen Glanz hat ORTEGA y GASSET solche Sätze wie den folgenden gesagt: "Bei der Physik EINSTEINS ist unsere Kenntnis absolut, die Wirklichkeit ist relativ."

Damit wir sehen können, ob jene Besorgnisse gerechtfertigt sind, und vor allem, ob das Philosophische in der Relativitätstheorie aufnehmen können, wollen wir diese streng prüfen, bzw. wollen wir diese Theorie von der scholastischen Philosophie her betrachten, von der Philosophie nämlich, die, unserer Meinung nach, am besten das Sinnliche und das Ideale vereint hat. Wir halten diese Philosophie für ein angemessenes Arbeitsinstrument, weil sie sich nicht auf wissenschaftliche Theorien gestützt hat, sondern auf die sichere Betrachtung der Dinge. Unter den scholastischen Philosophen halten wir SUAREZ für beachtenswert. Er kommt nämlich an den scholastischen Bereich in einer Epoche lebhafter Erneuerung. Die grossen mittelalterlichen Beiträge werden von ihm scharf kritisiert, und ohne zu einer bestimmten philosophischen Schule zu gehören, kann sein Geist seine eigene Wege frei begehen. Ausserdem trennt sich SUAREZ in diesem Problem wesentlich nicht von der gewöhnlichen Meinung der scholastischen Philosophen.

Como el punto de partida del trabajo de EINSTEIN debe ponerse en el intento de resolver la antinomia planteada por los experimentos de FIZEAU y MICHELSON - MORLEY, vamos a dar un resumen de éstos de manera inteligible para los no iniciados en la física-matemática.

Todo partió del deseo de encontrar un elemento privilegiado en reposo respecto del cual se pudiera determinar el movimiento de los móviles, ya que el movimiento absoluto es imposible

determinarlo físicamente. En efecto, si consideramos dos cuerpos celestes A y B en movimiento, aun cuando los respectivos habitantes notaran que se aproximaban constantemente, no podían asegurar si A se acercaba a B, o B a A, o si A y B se acercaban ambos a la vez el uno al encuentro del otro, o si A alcanzaba a B que se alejaba a menor velocidad, o si se dirigían ambos convergiendo hacia un tercer cuerpo C colocado lejanamente a derecha o izquierda.

Fundado en esta experiencia evidente, pudo enunciar NEWTON su principio de relatividad de la mecánica clásica: "Prescindiendo de aceleraciones, por medios mecánicos sólo podemos conocer movimientos relativos".

El natural deseo de encontrar un punto fijo al cual referir los movimientos, llevó a los experimentos de FIZEAU y MICHELSON-MORLEY. El punto de partida fue la hipótesis, unánimemente admitida hasta hace poco, de la existencia de un cuerpo de propiedades muy especiales, el éter, necesario para explicar la transmisión de la luz y electricidad, y tal vez también de la gravedad.

El problema se planteaba, pues, en estos términos: ¿se mueve el mundo respecto del éter, o no? En otras palabras: ¿El mundo choca en su movimiento con el éter o lo arrastra consigo al igual que la atmósfera que rodea la tierra es arrastrada por ésta?

Si el mundo se movía dentro del éter, tenía que evidenciarse un "viento del éter" semejante al que experimenta un automóvil al moverse a gran velocidad dentro de una masa de aire en reposo. En cambio, si el éter era arrastrado, no se manifestaría tal "viento".

En 1851, FIZEAU hizo sus experimentos haciendo interferir dos rayos luminosos, uno "arrastrado" por un medio cualquiera, otro "frenado" por el mismo medio. El resultado fue que el éter no era arrastrado por el aire y se dedujo que nos movemos con la tierra en un océano inmóvil de éter, y por lo tanto debemos esperar hallar finalmente un fenómeno en el cual se haga resaltar un influjo de este "viento de éter" tan ampliamente que pueda ser observado; con lo cual quedaría entonces demostrado el movimiento con respecto al éter.

En 1881, MICHELSON y MORLEY llevaron a cabo las experiencias orientadas a hacer sensible tal movimiento en el éter. El experimento se basaba en hacer interferir dos rayos luminosos, uno marchando en la misma dirección del movimiento de la tierra a través del éter, el otro en dirección perpendicular. El rayo que marchaba en la dirección de la tierra emplearía un tiempo  $t_1$  distinto del  $t_2$  empleado por el rayo perpendicular, de donde al interferir se daría una desviación de las franjas del espectro. La desviación estaba perfectamente calculada:

Sea el esquema la fig. 1. Una fuente luminosa L emite un rayo de luz que en A choca con un cristal en ángulo de  $45^\circ$ . El rayo se divide en dos, uno que atraviesa el cristal hasta reflejarse en el espejo B y retrocede reflejándose de nuevo en A y siguiendo entonces la dirección R para ser recogido en la pantalla. El rayo AB se desliza en la dirección del movimiento de la

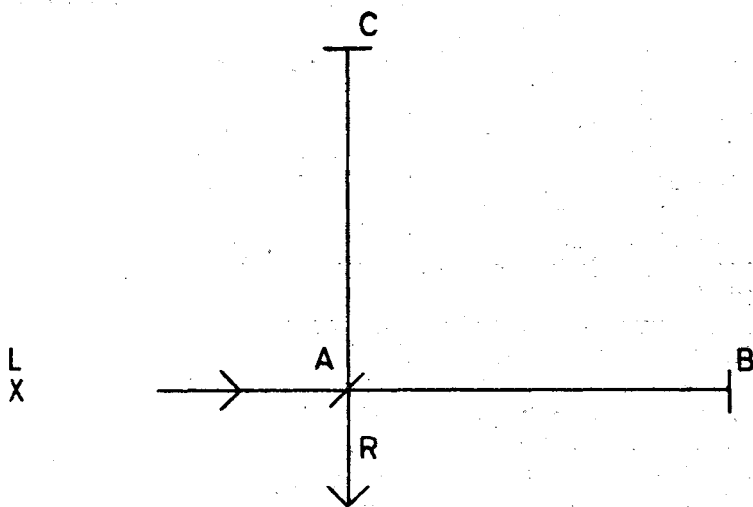


Fig. 1

tierra. El rayo que parte de L, al dividirse en A da como resultado otro rayo AC, que reflejado en un espejo C retrocederá para atravesar el cristal A y ser recogido también en R. Las distancias AB y AC son iguales, de suerte que se verifica

$$AB = AC = l$$

Si suponemos el aparato experimental en reposo, se verificará:

$$t_1 = \frac{2l}{c} \quad t_2 = \frac{2l}{c}$$

(siendo  $c$  = velocidad de la luz); y de ahí:  $t_1 = t_2$ , o lo que es igual:  $t_1 - t_2 = 0$ .

Pero el aparato no está en reposo, sino que se mueve arrastrado por la Tierra. De ahí que tengan que modificarse los cál-

culos, teniendo en cuenta este desplazamiento. Vamos a exponer este cálculo a partir de la figura 2.

Sea  $v$  = velocidad de la tierra, y la dirección del movimiento, AB. Cuando el rayo que ha salido de L llega a A, empezamos a tomarlo en cuenta. El rayo AB, en realidad no alcanzará a B,

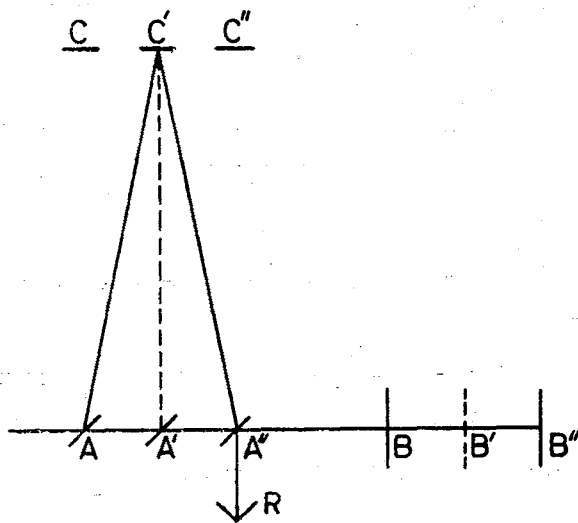


Fig. 2

sino a B', pues durante el tiempo que necesita el rayo para su desplazamiento, ya habrá alcanzado B la posición B'. Por consiguiente hemos de considerar un camino más largo y un tiempo mayor,  $t_1'$ . De donde:  $BB' = vt_1'$  y el camino alargado será

$$l' = l + vt_1'$$

y por ser  $c$  la velocidad de la luz, tendremos que el tiempo necesario

$$t_1' = \frac{l'}{c} = \frac{l + vt_1'}{c}; \text{ de donde } ct_1' = l + vt_1'$$

$$t_1' = \frac{l}{c - v}$$

Pero en el retroceso del rayo el espejo B' envía la luz a A'', camino más corto y tiempo más corto también, de donde será:

$$l'' = l - vt_1''; t_1'' = \frac{l - vt_1''}{c}$$

$$t_1'' = \frac{l}{c + v}$$

por consiguiente, el recorrido A B' A'' empleará un tiempo

$$t_1 = t_1' + t_1'' = \frac{l}{c-v} + \frac{l}{c+v} = \frac{2lc}{c^2 - v^2} = \frac{2l}{c} \cdot \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (1)$$

De manera distinta ocurre con el trayecto hipotético ACA, que en la realidad será A C' A'' = 2AC'. Aquí será AC' la hipotenusa de un rectángulo de catetos AA' A'C'.

Si  $t_2'$  es el tiempo de AC', tenemos que:

$$AA' = vt_2' \quad \text{y} \quad A'C' = l; \quad \text{de donde:}$$

$$AC' = \sqrt{l^2 + (vt_2')^2};$$

y el tiempo necesario será:

$$t_2' = \frac{AC'}{c} = \frac{1}{c} \sqrt{l^2 + (vt_2')^2}; \quad c^2 t_2'^2 = l^2 + v^2 t_2'^2;$$

y por consiguiente,

$$t_2'^2 = \frac{l^2}{c^2 - v^2}; \quad t_2' = \frac{l}{c} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}};$$

de donde podremos pasar a conocer  $t_2 = 2t_2'$

$$t_2 = \frac{2l}{c} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (2)$$

Como se ve,  $t_1$  y  $t_2$  son diferentes, y T, la diferencia, será:

$$T = t_1 - t_2 = \frac{2l}{c} \left( \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} - \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \right)$$

Ahora bien,  $\frac{v^2}{c^2}$  es pequeñísimo, aún para el caso de la velocidad de la tierra, 30 km/seg. Entonces sería:

$$\frac{v}{c} = \frac{1}{10.000}; \quad \frac{v^2}{c^2} = \frac{1}{100.000.000};$$

y se puede establecer,

$$\frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 1 + \frac{v^2}{c^2} \quad \text{y} \quad \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = 1 + \frac{v^2}{2c^2};$$

de donde sustituyendo para el valor de T,

$$T = \frac{2l}{c} \cdot \frac{v^2}{2c^2} = \frac{l}{c} \cdot \frac{v^2}{c^2}$$

Luego, el camino recorrido por la onda luminosa será:

$$H = cT = l \frac{v^2}{c^2}$$

Si  $\lambda$  = longitud de onda, será:

$$\frac{H}{\frac{\lambda}{2}} = \frac{2H}{\lambda} = \frac{2lv^2}{\lambda c^2}$$

Como en el aparato de MICHELSON era:

$$l = 1.100 \text{ cm}; \lambda = 5,9.10^5; \frac{v^2}{c^2} = 10^8,$$

resultó finalmente:

$$\frac{2H}{\lambda} = 0,37.$$

MICHELSON debía esperar, pues, una desviación de las franjas superior a  $1/3$  de la separación mutua de dos líneas oscuras.

La sorpresa fue que tal desviación no apareció. Es decir, la velocidad de propagación de la luz parece ser al observador la misma en la dirección del movimiento de la tierra que perpendicularmente a ella, por tanto no se podrá concluir de las experiencias si la tierra se mueve respecto del éter, ni en qué dirección ni en qué velocidad. El resultado del experimento dejó asombrado al mundo sabio. Para los no versados en Física, podemos sensibilizar de la siguiente manera la paradoja que aparecía:

Fig. 3: En un campanario A suena a las 12 en punto una campanada, que doce observadores situados en una circunfe-

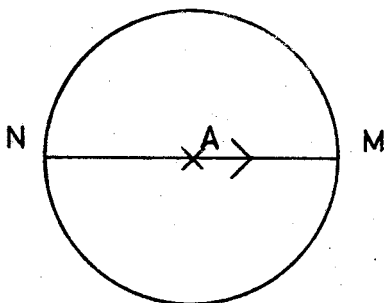


Fig. 3

rencia de 3,3 km. de radio tomando como centro el campanario oirán a las 12 h 10 segundos (velocidad del sonido = 330 m/s).



Al sonar la campanada vuela sobre el campanario un avión a 180 km/hora. Durante los 10 segundos siguientes, el avión se ha alejado 500 m del campanario, de suerte que a las 12 h 10 s, estaba a 2,8 km del observador M alineado con el avión y el campanario y a 3,8 km del observador N situado en el extremo contrario del diámetro. Pues bien, el experimento de MICHELSON, equivaldría a decir, aquí, que medidas acústicamente las distancias del avión a los observadores, equidista de todos ellos en 3,3 km. el avión, aunque alejado 500 m del campanario A, se halla igualmente en el centro de la circunferencia descrita alrededor del campanario.

Se confió en encontrar errores en el experimento de MICHELSON, pero fue en vano. ¿Será que la tierra arrastra el éter en su movimiento? Esto contradecía las experiencias de FIZEAU. LORENZ intentó dar una explicación sobre la hipótesis de un acortamiento de medidas. Su razonamiento era el siguiente: Según el experimento de MICHELSON resulta, que  $t_1 - t_2 = 0$ ; por consiguiente, tiene que ser  $t_1 = t_2$ . Ahora bien: como  $t_2$  permanece constante, hemos de admitir el cambio en  $t_1$ , y la única magnitud que puede haberse alterado tiene que ser la longitud  $l$ . Comparando, pues, (1) y (2), será (1) = (2), si en (1) sustituimos  $l$  por

$$l \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

entonces (1) se transforma de la siguiente manera:

$$t_1 = \frac{2l \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{c \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)} = \frac{2l}{c} \cdot \frac{l}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = t_2$$

Sin embargo, pareció demasiado artificiosa esta explicación de LORENZ que obligaba a unas contradicciones de la realidad de las que no había experiencia, sino que se "inventaban" para explicar una experiencia de sentido paradójico. Toda teoría debe explicar la realidad, pero no se puede sacrificar, sin más, la realidad, mientras haya posibilidad de encontrar una explicación de cualquiera de los problemas que plantee.

Con este problema vino a enfrentarse con lógica implacable EINSTEIN: "las experiencias son válidas, la realidad debe respetarse al máximo". Pero algo habrá que rectificar: nuestros conceptos de espacio, tiempo, simultaneidad. No es menester recurrir, con LORENZ, a cambios de longitudes y tiempos. Pero sí es preciso revisar nuestros conceptos sobre los que se apoya la Física.

## LA RELATIVIDAD ESPECIAL

Se enfrenta EINSTEIN en primer lugar con los teoremas de la geometría euclídea. Ciertamente, los conceptos de que ella se sirve, están extraídos de la realidad, pero, después de su construcción lógica, cabe examinar hasta qué punto se corresponden dichos teoremas con los entes reales que hemos hecho corresponder a los conceptos geométricos. Si la comprobación se basa sobre experiencias, hemos de confesar que éstas son bastante incompletas, así que, en principio, admite EINSTEIN la verdad de las proposiciones de la geometría, para luego, en la última parte del libro, investigar los límites de esta verdad.

Pasa luego a analizar los conceptos de espacio y tiempo en la física clásica, pero antes deja bien sentado que "toda representación espacial de los fenómenos se sirve de un cuerpo de referencia, (coordenadas cartesianas en este paso previo), suponiendo que para los segmentos son válidas las reglas de la geometría euclídea, y que la representación física de un segmento la constituyen dos marcas sobre un cuerpo sólido" (1).

No le parece claro lo que deba entenderse por lugar y espacio. Sabido es que una piedra, dejada caer desde un tren en marcha, sigue una trayectoria recta para el viajero y una trayectoria curva para quien la contemple desde el terraplén. De ahí la pregunta: los lugares, (recuérdese que para EINSTEIN, lugar equivale a punto referido a un sistema) que la piedra recorre, ¿están realmente sobre una recta o sobre una parábola? ¿Qué significa movimiento en el espacio?

EINSTEIN no quiere, sin embargo, hablar de "espacio", y sustituye la locución por esta otra: "movimiento con relación a un sistema de coordenadas"; así podrá decir que la piedra del ejemplo anterior describe una recta respecto de un sistema de coordenadas, invariablemente ligado con el vagón, y describe una parábola respecto de otro sistema ligado a la vía, de ahí que no se podrá hablar de una trayectoria, sino solamente de *trayectoria respecto de un cierto sistema de referencia* (2).

Para obtener una representación completa del movimiento,

---

(1) A. EINSTEIN. "Teoría de la relatividad especial y general". Trad. de la 12ª ed. alemana por F. Lorente de Nó. Madrid, 1921. Revista Matemática Hispano-Americana, pág. 5.

(2) A. EINSTEIN. O. c., pág. 5.

se debe decir cómo el cuerpo varía de posición con el tiempo, es decir, se debe asignar a cada punto el instante en que el cuerpo coincide con él, lo cual nos obliga a dar una definición del tiempo tal, que estos valores, consecuentemente con su definición, sean magnitudes esencialmente observables (resultados de medidas).

Para el ejemplo que nos ocupa, lo consignaremos mediante dos relojes exactamente iguales, uno en manos del viajero y otro en poder del observador en reposo. A cada instante de su reloj, marcarán la posición del móvil en su sistema, renunciando por ahora a tener en cuenta las pequeñas inexactitudes provenientes de ser finita la velocidad de la luz, sobre las cuales y otras dificultades, se ocupará EINSTEIN más adelante.

EINSTEIN fija luego el principio de la relatividad restringida: "Si  $k'$  es un sistema coordinado en movimiento uniforme y sin rotación respecto a  $k$ , los fenómenos naturales se rigen respecto a  $k'$  por las mismas leyes exactamente que respecto a  $k$ " (3).

Este principio era perfectamente compatible con la mecánica clásica: ¿pero lo será supuestos los adelantes de la electrodinámica y la óptica?

Parece que sí; pues, si explica con tan maravillosa exactitud los movimientos celestes, hemos de sospechar que también se aplicará en el campo de la mecánica. Y, si tiene una tal generalidad, ¿por qué no ha de tenerla absoluta?

Además, caso de no valer este principio, tendría que haber un sistema privilegiado respecto del cual las leyes fundamentales fuesen de expresión más sencilla que en los demás. Este sistema podría considerarse en reposo absoluto. Ahora bien, la Tierra no está en reposo respecto de este sistema privilegiado —hipotéticamente el Sol—, sino que está en continuo cambio de dirección en su movimiento. Por consiguiente, tendrían que variar también las leyes que rigen los fenómenos naturales. Sin embargo, a pesar del cuidado puesto, nunca se ha podido comprobar la esperada anisotropía del espacio físico terrestre, sobre todo, con los brillantes experimentos de MICHELSON-MORLEY. Este es el más fuerte argumento en pro del principio de la relatividad.

Sin embargo, hay una gran incompatibilidad: la ley de la propagación de la luz, constante para todas las magnitudes de onda, y tanto si el cuerpo emisor se mueve (recuérdese las observaciones de DE SITTER), como si está en reposo, deberá expresarse de maneras distintas, según el movimiento de los sistemas, en virtud de la ley de composición de las velocidades de la

(3) A. EINSTEIN. O. c., pág. 7.

física clásica. Por consiguiente: o se sacrifica el principio de relatividad, o se sacrifica la ley de propagación de la luz. Sin embargo, parece ser ésta última, ley esencial (investigaciones de LORENTZ) en una teoría congruente de los fenómenos electromagnéticos. Entonces no cabría más solución que sacrificar el principio de relatividad, aunque no se haya encontrado ni un hecho experimental que lo contradiga.

¿Cuál es la raíz de la contradicción? ¿No estará en la ley de composición de velocidades, o más aún, en los principios en que ésta descansa? Efectivamente, un análisis de los conceptos físicos de espacio y tiempo demuestra que en realidad no existe incompatibilidad entre el principio de relatividad y la ley de propagación de la luz. Más aún, apoyándose sistemáticamente en ambas leyes, llega EINSTEIN a edificar su teoría perfectamente lógica, libre de objeciones.

Estamos ante el hecho más genial de la ciencia moderna: la teoría de la relatividad.

### *El tiempo físico*

Simultáneos llamo yo a dos sucesos que acontecen a la vez. Para el físico dicho concepto se realiza desde que hay posibilidad de comprobarlo. Por consiguiente, se precisa una definición de simultaneidad que, por su propia naturaleza, dé el método para decidir en casos concretos y por medio de la experimentación, si los dos sucesos son o no simultáneos. Mientras esta condición no esté satisfecha, como físico (y también como no físico) me engaño a mí mismo si creo poder atribuir un sentido a la afirmación de simultaneidad.

Fijemos, pues, el método experimental:

Si dos sucesos A y B equidistantes de un observador, son vistos simultáneamente por éste, son, en efecto, simultáneos.

Sin embargo, ocurre una objeción: esta definición incluye una equipropagación de la luz en sentidos inversos, mas el comprobar tal hipótesis exigiría medios para la medición del tiempo; nos movemos, por consiguiente, en un círculo vicioso.

EINSTEIN obvia la dificultad:

“La única condición que puede imponerse a la definición de simultaneidad, es que dé un criterio experimental para decidir en cada caso real si se verifica o no el concepto definido; mi definición cumple esta condición, indiscutiblemente. La equipropagación de la luz *no es una hipótesis* sobre la naturaleza física

de la luz, sino un convenio que puedo establecer libremente para llegar a una definición de la simultaneidad" (4).

Esta definición es evidente que *sirve* para cualquier número de sucesos, no sólo para dos.

Y ahora viene que puedo definir ya el tiempo físico; en efecto, imaginemos en los puntos A, B, C, de un sistema, sendos relojes idénticos, y coloquemos sus saetas simultáneamente (en el sentido definido) en la misma dirección. *Se entenderá por tiempo de un suceso la hora marcada por el reloj contiguo* (5). De este modo, corresponde a cada suceso su valor observable del tiempo.

Con todo, advertimos que también aquí se encierra una hipótesis física: colocados dos relojes iguales en dos puntos del sistema, de modo que simultáneamente señalen la misma hora, siempre marcarán horas iguales en cada momento.

De la validez de esta hipótesis, no es posible dudar sin experimentos que la contradigan.

Pero ahora viene una pregunta necesaria: dos sucesos que son simultáneos, respecto de un sistema, ¿lo son también respecto de otro? La contestación es negativa. EINSTEIN propone el ejemplo del tren deslizándose sobre la vía.

"En efecto, decir que los rayos A y B son simultáneos respecto de la vía, equivale a decir que los rayos luminosos enviados desde ellos se encuentran en M, punto medio del segmento sobre la vía; ahora bien, sobre el tren corresponden a los puntos A, B, otros dos cuyo punto medio M' suponemos coincide con M en el momento de brillar el relámpago (fig. 4.) —visto naturalmente desde la vía—, pero se mueve con velocidad y hacia la derecha. Si un observador permanece fijo en M, presenciara simultáneamente el encuentro de los rayos que vienen de A y B, pero en realidad M' corre al encuentro del rayo luminoso que parte de B y se aleja del A; por consiguiente, este observador percibe antes el relámpago B que el A y, como su cuerpo de referencia es el tren, afirmará que el relámpago en B se ha producido antes que el relámpago en A. Así llegamos a los siguientes resultados:

Fenómenos simultáneos respecto a la vía no lo son respecto al tren (Relatividad de la simultaneidad). A cada cuerpo de referencia (sistema de coordenadas) corresponde un tiempo propio, y dar un tiempo carece de significación, si a la vez no se da el cuerpo de referencia" (6).

(4) A. EINSTEIN. O. c., pág. 12-13.

(5) A. EINSTEIN. O. c., pág. 13.

(6) A. EINSTEIN. O. c., pág. 14.

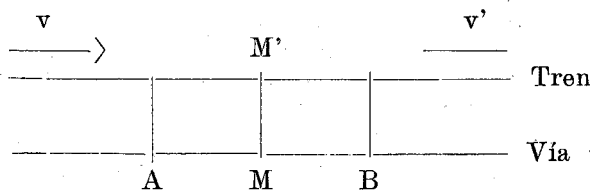


Fig. 4.

Pero esto fijado, podemos preguntar si también las medidas de las distancias dependen de los sistemas de referencia.

“Si consideramos dos puntos determinados sobre el tren que viaja con velocidad y preguntamos por su distancia, para medirla necesitamos un cuerpo de referencia, sobre el cual efectuaremos la medición. Lo más sencillo es utilizar el tren mismo como cuerpo de referencia. El observador que viaja en dicho tren medirá la distancia colocando la unidad en línea recta en el suelo de los vagones tantas veces como sea preciso para ir de uno de los puntos señalados al otro.

El número que indica cuántas veces debe colocarse la unidad, es la distancia buscada. Si esa distancia se mide respecto de la vía, la cosa varía, y ocurre entonces aplicar el método siguiente: designense con A' y B' los dos puntos del tren de cuya distancia se trata; ambos puntos se mueven con velocidad V a lo largo del terraplén. Preguntamos ahora, en primer lugar, cuáles son los puntos A y B de la vía ante los cuales, en un instante  $t$ , (medido desde la vía), sean determinables gracias a la definición de tiempo dada en la pág. 16. Después de esto, mediremos la distancia de esos puntos A y B por medio de aplicación repetida de la escala métrica a lo largo de la vía” (7).

Es inútil advertir que, por depender la medida de unas luces que son simultáneamente para la vía, pero no para el tren, según lo ha dicho antes, estas medidas serán forzosamente distintas.

Por consiguiente, concluye EINSTEIN, la aparente incompatibilidad entre la ley de propagación de la luz y el principio de relatividad, obedece a que hemos utilizado dos hipótesis de la mecánica clásica nada rigurosas.

Estas hipótesis son:

1ª. — La diferencia de tiempo entre dos sucesos es independiente del estado de movimiento del cuerpo de referencia.

(7) A. EINSTEIN. O. c., pág. 15.

2ª — La distancia entre dos puntos de un sólido es independiente del estado de movimiento del cuerpo de referencia.

No admitiendo estas hipótesis como justas, el dilema propuesto en la pág. 14 desaparece, porque el teorema de adición de velocidades, que le sirve de base, no subsiste, y, por consiguiente, aparece clara la posibilidad de hermanar el principio de relatividad y la ley de propagación de la luz. Pero esto trae consigo la cuestión siguiente: ¿cómo deben modificarse los razonamientos que ligan las fórmulas de adición de velocidades para que no exista la contradicción entre estos dos hechos fundamentales de experiencia?

Puesto que en tales razonamientos intervienen lugares y tiempos respecto al tren y respecto a la vía, esta pregunta conduce a otra más general: ¿Cómo se hallan el lugar y momento de un suceso con relación al tren, cuando se conocen lugar y momento respecto de la vía? ¿Es posible dar una solución que no ponga en contraposición el principio de relatividad con el de propagación de la luz? De otro modo, ¿se puede encontrar alguna relación entre el lugar y el momento respecto a los dos sistemas de referencia, de tal naturaleza que todo rayo luminoso tenga la misma velocidad constante de propagación  $c$  respecto al tren y a la vía?

Esta pregunta lleva consigo una respuesta afirmativa; existe una ley de transformación perfectamente determinada, de las magnitudes, tiempo y espacio de un suceso, que permita pasar de un sistema de referencia a otro.

Esta transformación vendrá dada por las fórmulas de LORENTZ, cuyo cálculo no hace el caso. La única consecuencia que debemos tener en cuenta, es que los relojes y escalas varían en su movimiento. O mejor, varían las medidas del tiempo y el espacio, al desplazarse las unidades de medida.

Sabido es que las fórmulas de la mecánica clásica no son más que las de LORENTZ para valores de  $c$  que tienden a infinito.

La experiencia ha conducido al convencimiento de que por una parte vale el principio de relatividad, (en sentido restringido). De otra vale la propagación de la luz en el espacio, como una constante de  $c$ . La reunión de ambos principios, conduce a una ley de transformación de las coordenadas rectangulares y del tiempo, la cual ley liga los hechos naturales; en este razonamiento, la ley de propagación de la luz juega un papel muy importante; su aceptación depende exclusivamente de conocimientos positivos; por consiguiente, y con derecho, ya que estamos en posesión de la transformación de LORENTZ, podemos reunirla con el principio de relatividad y comprender la teoría en el enunciado.

Toda ley natural debe ser tal que se transforme en otra exac-

tamente igual de la misma comprensión, cuando, en vez de las variables  $x, y, z, t$ , referidas al sistema coordinado primitivo  $K$ , se introduzcan por la transformación de LORENTZ las  $x', y', z', t'$ , referidas a otro sistema  $K'$ . Más breve: Las leyes naturales generales son covariantes respecto a la transformación de LORENTZ.

Como se ha notado, el tiempo pierde su valor excepcional de absoluto al ligarse con el espacio y depender de los sistemas de coordenadas. El continuo cuatridimensional de MINKOWSKY no quiere decir otra cosa que, dado un suceso  $X$ , puede señalar una infinidad de sucesos, cuyas cuatro coordenadas difieren tan poco como se quiera de las del primero. Desde un punto de vista formal, se puede considerar el universo de MINKOWSKY como un espacio euclídeo cuatridimensional (con coordenada imaginaria de tiempo). La transformación de LORENTZ corresponde a una "rotación" del sistema de coordenadas en el "universo" cuatridimensional.

## LA RELATIVIDAD GENERALIZADA

Un nuevo problema se nos presenta. Hemos rechazado la física clásica porque era una abstracción. Sin embargo, la teoría que acabamos de exponer adolece del mismo defecto. Ciertamente, no es tan radical la abstracción, pues la teoría de la relatividad tiene ya en cuenta la propagación temporal de la luz; pero, con todo, aún resta una abstracción de la física clásica: considerábamos siempre la ley de inercia galileana. Y esta ley de inercia es una ficción de la mente, una generalización ilegítima. Hemos, pues, de tener en cuenta la gravitación que imprimirá a los cuerpos movimientos acelerados.

Vamos, pues, a una generalización de la relatividad.

En todos los tiempos, ha sido cosa evidente que todo movimiento, como consecuencia de su definición, debía ser considerado solamente como relativo. En nuestro ejemplo de la vía y el vagón del ferrocarril, el caso del movimiento puede con igual razón expresarse en una u otra de estas dos formas:

- a) El vagón se mueve respecto a la vía;
- b) La vía se mueve respecto al vagón;

en el primer caso, se toma como cuerpo de referencia la vía y en el segundo el vagón. Para la pura definición o descripción de un movimiento es, en principio, indiferente, la clase de cuerpo o de referencia que se tome. Esto es, como ya hemos dicho, evidente, y no debe confundirse con el enunciado mucho más profundo que hemos llamado "principio de relatividad" y ha servido de base a nuestras investigaciones. El principio sentado



por nosotros afirma, no sólo para la descripción de cualquier fenómeno que es igualmente posible tomar como cuerpo de referencia la vía o el vagón (lo que es evidente), sino mucho más: Formúlese las leyes naturales generales, tal como las suministra la experiencia, cuando:

a) se tome la vía como cuerpo de referencia,

b) se tome el vagón como cuerpo de referencia, y

en ambos casos dichas leyes naturales generales (por ejemplo, las leyes de la mecánica o la ley de propagación de la luz en el vacío) se expresan exactamente igual. Se puede expresar ésta también así: Para la descripción *física* de los fenómenos naturales, ninguno de los cuerpos de referencia  $K$ ,  $K'$ , desempeña papel especial. Este último enunciado no debe a priori ser necesariamente exacto como el primero; no está contenido en los conceptos de "movimiento" y "cuerpo de referencia" ni es deducible de ellos, sino que sobre su validez o falsedad sólo puede decidir la *experiencia*.

Ahora bien, hemos hablado solamente de cuerpos en movimiento rectilíneo uniforme. En este sentido hablamos del principio de relatividad especial, y, por tanto, de la teoría de la relatividad especial.

Contrariamente a esto, entenderemos como principio general de relatividad la siguiente proposición: "Todos los cuerpos de referencia  $K$ ,  $K'$ ..., son equivalentes para la expresión de las leyes naturales (formulación de las leyes naturales generales), cualquiera que sea su estado de movimiento"(8). Una vez introducido el principio de relatividad restringida, parece que todo espíritu amante de la generalización ha de sentirse tentado de salvar el paso que le separa del principio de relatividad generalizada; pero una sencilla observación, aparentemente decisiva, hace pensar enseguida que tal tentativa no tendrá éxito. Imaginémosnos colocados dentro del vagón considerado, que se mueve uniformemente. Mientras la marcha del vagón es uniforme, los que están sentados en su interior nada notan del movimiento del vagón, de modo que pueden sin inconveniente, creer que el vagón está quieto y es la vía la que se mueve, interpretación que, por otra parte, está físicamente justificada, según el principio de relatividad restringida. Si el movimiento del vagón se cambia en uno variado, por ejemplo, frenándolo fuertemente, los viajeros sufren un empuje violento hacia adelante. El movimiento acelerado del vagón se manifiesta en el comportamiento mecánico de los cuerpos respecto a él, comportamiento mecánico que, en este caso, es diferente del anterior, lo que hace repu-

(8) A. EINSTEIN. O. c., pág. 34.

tar como imposible que las mismas leyes mecánicas pueden ser ciertas tanto para el vagón en movimiento variado, como para el vagón en reposo o moviéndose con velocidad constante. En todo caso es evidente que el principio fundamental de GALILEO no es válido relativamente al vagón con movimiento no uniforme. Nos sentimos, pues, obligados desde luego, a dar al movimiento variado una especie de realidad física absoluta, contrariamente al principio general de relatividad; pronto veremos, sin embargo, en lo que sigue, que esta conclusión no es exacta.

A la pregunta "¿por qué cae una piedra al suelo cuando se la abandona después de haberla levantado?", se responde ordinariamente: "Porque es atraída por la Tierra." La física moderna formula su respuesta de modo algo diferente.

La acción de la Tierra sobre la piedra se verifica de un modo indirecto. La Tierra engendra a su alrededor un campo gravitatorio. Este actúa sobre la piedra y produce su caída. La experiencia demuestra que la intensidad de esta acción disminuye a medida que se aleja de la Tierra el cuerpo, según una ley completamente determinada. Esto se expresa en nuestra manera de ver las cosas diciendo: "La ley que rige las propiedades espaciales del campo gravitatorio debe ser completamente determinada de manera que represente con exactitud la disminución de acción gravitatoria con la distancia de los cuerpos que actúan" (9). Se imagina uno que el cuerpo (por ejemplo la Tierra) engendra directamente el campo en su más inmediata proximidad; y la intensidad y dirección del campo para mayores distancias están, entonces, determinadas por la ley que rige las propiedades espaciales del campo gravitatorio.

El campo gravitatorio presenta, contrariamente al eléctrico y magnético, una propiedad notabilísima que es fundamentalmente importante para lo sucesivo. Los cuerpos que se mueven exclusivamente bajo la acción del campo gravitatorio experimentan una aceleración que no depende en lo más mínimo ni de la materia ni del estado del cuerpo físico. Un trozo de plomo y otro de madera, por ejemplo, caen en el campo gravitatorio (naturalmente vacío de aire) exactamente igual cuando se les deja partir sin o con la misma velocidad inicial.

La experiencia demuestra que para un campo gravitatorio dado, la aceleración es independiente de la naturaleza y del estado de los cuerpos; por consiguiente, para cada cuerpo la razón de la masa gravitatoria a la inerte debe ser constante. Dicha constante puede reducirse a 1 eligiendo convenientemente

---

(9) A. EINSTEIN. O. c., pág. 36.

las unidades y, por consiguiente, puede decirse: Las masas gravitatoria e inerte de un cuerpo son iguales.

La mecánica clásica ha registrado este fenómeno, pero no lo ha interpretado. Una interpretación satisfactoria puede darse diciendo: La misma cualidad de los cuerpos se manifiesta, según las circunstancias, como inercia o peso. En lo que sigue veremos hasta qué punto es cierto ésto y la conexión que existe entre esta cuestión y el postulado de relatividad general. Esta igualdad es, según la relatividad general, necesaria. Omitimos, por brevedad, la prueba tan plástica del hombre introducido en la cabina colgada en el vacío.

Y ahora se explica la aparente contradicción citada anteriormente del vagón que se frena.

Es muy cierto que un observador colocado en el vagón fuertemente frenado, experimenta, a consecuencia del frenazo, un empuje hacia adelante, y que por él, se da cuenta de la no uniformidad del movimiento (aceleración) del vagón. Pero nadie le obliga a atribuir su empuje a una aceleración efectiva del vagón, sino que puede interpretarlo así: "Mi cuerpo de referencia (vagón) está constantemente en reposo, pero impera con relación a él (mientras se frena) un campo gravitatorio variable con el tiempo y dirigido hacia adelante. Bajo el influjo del mismo, la vía, y con ella la Tierra, se mueven variablemente de modo que la dirección primitiva, dirigida hacia atrás, disminuye constantemente. Este campo es el que produce también el empuje sobre el viajero" (10).

Ante la relatividad general descansa nuestro espíritu, ¿por qué tienen que ser privilegiados los cuerpos en reposo, me pregunto, en la mecánica clásica? ¿Por qué deben serlo los cuerpos en movimiento uniforme, rectilíneo, me pregunto en la relatividad especial? Ninguna razón veo, en vano busco una explicación. Esta objeción ya fue vista por NEWTON, que en vano trató de desvanecerla. Más claramente fue percibida por E. MACH, quien en consecuencia de ella, manifestó la necesidad de establecer la Mecánica sobre nuevos fundamentos. Sólo puede evitarse la dificultad, construyendo una Física conforme con el principio de relatividad general, pues las ecuaciones de esta teoría son aplicables a todo cuerpo de referencia, cualquiera que sea el estado de movimiento en que se encuentre.

De la admisión del principio brota una consecuencia que aparentemente destruye la relatividad especial y, por consiguiente, la base del nuevo edificio que levantamos. Sin embargo, no hay por qué asustarse. Oigamos al mismo EINSTEIN:

---

(10) A. EINSTEIN. O. c., pág. 40.

“Las consideraciones expuestas demuestran que el postulado general de relatividad nos coloca en situación de obtener por medios puramente teóricos, las propiedades de un campo gravitatorio. Supongamos conocida la marcha en el espacio y en el tiempo, de un fenómeno que se realiza en un dominio galileano de referencia  $K$ . Entonces se puede, mediante operaciones teóricas puras, es decir, simplemente por el cálculo, encontrar la manera de comportarse tal fenómeno respecto a un sistema  $K'$  en movimiento acelerado respecto a  $K$ . Pero como existe un campo gravitatorio respecto a este nuevo cuerpo de referencia  $K'$ , se deduce de las mismas consideraciones de cómo influye el campo gravitatorio sobre el fenómeno estudiado.

Así, por ejemplo, vemos cómo un cuerpo animado de un movimiento rectilíneo y uniforme respecto a  $K$  (según el principio de GALILEO), tiene un movimiento acelerado y en general curvilíneo respecto al sistema acelerado  $K'$ .

Tales aceleración y curvatura son debidas al influjo, sobre el cuerpo, del campo gravitatorio existente  $K'$ . Ya sabíamos que el campo gravitatorio influya así en el movimiento de los cuerpos de modo que esta observación nada fundamentalmente nuevo nos enseña.

En cambio se obtiene un resultado de importancia fundamental, aplicando análogo razonamiento a un rayo de luz; relativamente a un sistema galileano, el rayo se propaga en línea recta y con velocidad constante  $c$ . Relativamente a la caja acelerada (cuerpo de referencia  $K'$ ) esa trayectoria, como fácilmente se demuestra ya no es rectilínea. De aquí se concluye que los rayos luminosos en campos gravitatorios se propagan, en general, curvilíneamente. Este resultado es de la mayor importancia desde dos puntos de vista.

En primer lugar, puede ser contrastado con la realidad. Aún cuando un razonamiento más profundo conduce a la conclusión de que la curvatura prevista por la teoría relativista para los campos gravitatorios que nuestras experiencias pueden poner a contribución es extremadamente pequeña, para los rayos luminosos que pasan cerca del sol alcanza 1,7 segundos de arco. Esta desviación debe ponerse de manifiesto en que las estrellas fijas aparentemente próximas a la corona solar, que son observables durante un eclipse total, han de parecer entonces como si, huyendo del Sol, se alejasen de la posición que para nosotros tienen en el espacio cuando el Sol ocupa otra posición. La comprobación de la realización o fracaso de esta consecuencia es un problema de la mayor importancia cuya pronta solución esperamos de los astrónomos. (La existencia de la desviación de la luz prevista por la teoría fue comprobada fotográficamente durante el eclipse de Sol de 30 de mayo de 1919, por dos expediciones

equipadas por la Royal Society de Londres y dirigidas por los astrónomos EDDINGTON y CROMMELIN.)

En segundo lugar prueba esta consecuencia que, según la teoría general de la relatividad, la ley tantas veces mencionada de la constancia de la velocidad de la luz en el vacío, que constituye uno de los puntos fundamentales de la relatividad especial, no puede tener el carácter de validez ilimitada.

Y en efecto, el encorvamiento de los rayos luminosos sólo puede producirse si la velocidad de la propagación de luz varía con el lugar. Se podría pensar que con este resultado, la teoría relativista especial, y en general la teoría relativista, fracasaría, pero en realidad no sucede así. Únicamente se puede concluir que la relatividad especial no puede pretender un dominio de validez ilimitado, y que sus afirmaciones son sólo ciertas en tanto en cuanto se pueda prescindir del influjo de los campos gravitatorios en los fenómenos (por ejemplo, en los luminosos)" (11).

Pero analicemos de nuevo el concepto de continuo de espacio y tiempo.

Sea un dominio tiempo-espacial en el que no existe campo alguno gravitatorio respecto de un cuerpo de referencia  $K$ , de movimiento convenientemente elegido con relación a este dominio; el sistema es galileano y respecto a él son ciertos los resultados de la teoría relativista especial.

Imaginemos referido dicho dominio a un cuerpo  $K'$  que gira uniformemente respecto a  $K$ . Para fijar las ideas, imaginemos  $K'$  en forma de disco circular plano que gira uniformemente en su plano en torno a su centro. Un observador colocado en el disco  $K'$ , fuera del centro, está sometido a una fuerza que obra en sentido radial hacia afuera, la cual es interpretada por un observador en reposo respecto al cuerpo de referencia primitivo como un efecto de inercia (fuerza centrífuga). El observador sobre el disco puede, sin embargo, suponer su disco "inmóvil", cosa justificada por la teoría de la relatividad general. La fuerza que actúa sobre él y en general sobre los cuerpos que están en reposo respecto al disco, las interpreta como producidas por un campo gravitatorio.

Ciertamente, la distribución espacial de este campo es tal que no sería compatible con la teoría de gravitación de NEWTON. Pero como el observador cree en la teoría general relativista, esto no le preocupa, y espera con razón que podrá formularse una ley gravitatoria general que explique rigurosamente, no sólo el movimiento de las estrellas, sino también el campo de fuerza observado por él.

---

(11) A. EINSTEIN. O. c., pág. 42-43.

Este observador hace experiencias en su disco con relojes y escalas, con ánimo de obtener, basándose en sus experimentos, definiciones exactas de la significación de los datos de tiempo o espacio, en relación con el disco *K*. ¿Qué le dicen estas experiencias?

El observador coloca primero dos relojes iguales, uno en el centro y otro en la periferia del disco, ambos en reposo respecto al mismo. Ante todo, nos preguntamos si estos relojes marchan con la misma velocidad, desde el punto de vista del sistema galileano de referencia *K*, que no gira. Respecto a éste el reloj del centro no tiene velocidad, en tanto que el de la periferia, como consecuencia de la rotación, está en movimiento respecto a *K*. Por consiguiente, considerado desde *K*, va constantemente más despacio que el del centro. Lo mismo debería ver el observador si lo suponemos cerca del centro del disco, junto al reloj situado en él.

Resulta, pues, que sobre nuestro disco y, en general, en todo campo gravitatorio, un reloj irá más despacio o más deprisa, según la posición que ocupe el reloj (en reposo) y, por tanto, que es imposible una definición lógica del tiempo por medio de relojes en reposo respecto al cuerpo de referencia. Una dificultad parecida se presenta cuando se quiere aplicar la definición de simultaneidad antes dada, cuestión sobre la cual no quiere insistir más EINSTEIN.

También la definición de las coordenadas espaciales presenta aquí dificultades insuperables. Supongamos que el observador coloca su escala unidad (muy pequeña respecto al radio del disco), tangente a la periferia; de este modo, la escala, vista desde el sistema galileano *K* es menor que 1, porque los cuerpos en movimiento experimentan una contracción en el sentido del mismo. Si coloca la escala dirigida según el radio no sufre (vista desde *K*) ningún acortamiento. Luego si el observador mide con su escala primero la circunferencia y después el diámetro, y divide ambas medidas, no encuentra como cociente el conocido número 3,1415..., sino uno mayor, mientras que hechas estas operaciones en un círculo fijo respecto a *K* hubiese hallado exactamente 3,1415...

Con esto queda ya demostrado que los teoremas de la Geometría euclídea sobre el disco en rotación, y en general, en un campo gravitatorio no pueden ser rigurosamente ciertos, al menos cuando a la escala se le atribuya la misma longitud en todas las posiciones y orientaciones. También con esto pierde su significado el concepto de recta. No estamos, pues, en situación de definir exactamente, respecto al disco, las coordenadas *x*, *y*, *z*, según el método utilizado en la relatividad especial. Sin embargo, en tanto no se definan las coordenadas y la época de los fe-

nómenos, las leyes naturales en que aparecen no tienen interpretación exacta.

Al hablar de la relatividad especial, hemos podido expresar su continuo espacio-temporal como euclídeo, puesto que nos valíamos de coordenadas cartesianas cuatridimensionales. Esto era posible basándose en la ley de constancia de la velocidad de la luz, la cual, según lo dicho, ya no es cierta en la relatividad general; antes al contrario, llegamos a la conclusión de que, según esta última teoría, la velocidad de la luz depende siempre de las coordenadas en el caso de existir campo gravitatorio. Además vimos que la existencia de un campo gravitatorio hace inadmisibles las definiciones de tiempo y coordenadas que en el caso de la relatividad especial conducían al fin propuesto.

Volviendo sobre estos resultados del razonamiento, llegamos a la convicción de que, en virtud de la relatividad general, el continuo tiempo-espacial no puede ser considerado como euclídeo, sino que aquí estamos en un caso más general. Es imposible construir con cuerpos rígidos y relojes un sistema tal que, sólidamente ligados entre sí, escalas y relojes indiquen directamente el sitio y el tiempo.

Refiramos el continuo cuatridimensional de espacio-tiempo, de un modo cualquiera, a un sistema de coordenadas de Gauss. A cada punto del continuo hacemos corresponder cuatro números coordenados, los cuales carecen en absoluto de significación física inmediata, sino que sirven solamente para numerar de modo determinado, pero arbitrario, los puntos del continuo. Esta correspondencia no necesita ser tal que las coordenadas primeras puedan ser interpretadas como coordenadas "espaciales", y la cuarta como coordenada "temporal".

Se podría pensar que una tal representación del mundo sea completamente insuficiente; ¿qué significa que yo asigne a un fenómeno las coordenadas, si estas coordenadas nada significan en sí mismas? Sin embargo, un examen más atento de la cuestión hace ver la falta de fundamento de tal preocupación. Consideremos, por ejemplo, un punto material arbitrario en movimiento. Si tuviese sólo una existencia momentánea, sin duración, quedaría definido en el tiempo y en el espacio por un sistema único de valores. Su existencia permanente está, pues, caracterizada por un número infinitamente grande de tales sistemas de valores, los cuales constituyen, para cada coordenada, una sucesión continua; al punto material corresponde, pues, una línea en el continuo cuatridimensional. A varios puntos móviles corresponden otras tantas líneas análogas a nuestro continuo. Las únicas proposiciones relativas a tales puntos a las que puede responder una realidad física son en verdad las afirmaciones referentes a encuentros de los mismos. Uno de

esos encuentros se manifiesta en nuestra representación matemática, porque las dos líneas que representan los movimientos de los puntos en cuestión, tienen de común un cierto sistema de valores de las coordenadas.

Reflexionando sobre ello, fácilmente se convence uno de que tales encuentros son, realmente, las únicas comprobaciones efectivas de carácter tiempo-espacial que encontramos en el campo de la Física.

Cuando antes describíamos el movimiento de un punto material respecto a un cuerpo de referencia, no expresábamos otra cosa que los encuentros de este punto con determinados puntos del cuerpo. Las indicaciones de tiempo correspondientes se reducen también a la comprobación de encuentros del cuerpo con relojes, juntamente con la comprobación de encuentros de las manecillas del reloj con determinados puntos de la esfera de éste, cosa esencialmente la misma que acaece en las medidas espaciales por medio de escalas, como se ve tras breve reflexión.

En general: toda descripción física se descompone en un cierto número de proposiciones, cada una de las cuales se refiere a la coincidencia tiempo-espacial de los fenómenos A y B y se expresa en coordenadas de GAUSS por la coincidencia respectiva de las cuatro coordenadas. La descripción del continuo tiempo-espacial por coordenadas gaussianas sustituye, pues, completa y efectivamente, a la descripción por medio de un cuerpo de referencia, sin adolecer de los defectos de este último método; no está ligada al carácter euclídeo del continuo que se trata de representar.

Ahora estamos ya en condiciones de sustituir el enunciado del principio de relatividad general, que en forma provisional dimos antes, por uno más exacto. La forma dada antes era: "Todos los cuerpos de referencia  $K$ ,  $K'$ , etc., son equivalentes para la descripción de la naturaleza, cualquiera que sea su estado de movimiento" (12). No puede conservarse justificadamente porque, en general, no es posible la utilización de cuerpos rígidos de referencia para la descripción tiempo-espacial, según los métodos dados en la teoría de la relatividad especial. En lugar del cuerpo de referencia ha de entrar el sistema coordenado gaussiano. Al pensamiento fundamental del principio general de relatividad responde la siguiente afirmación: "Todos los sistemas coordenados gaussianos son, en principio, equivalentes para la enunciación de las leyes naturales" (13).

Se puede expresar todavía este principio en una forma que

---

(12) A. EINSTEIN. O. c., pág. 55.

(13) A. EINSTEIN. O. c., pág. 56.



hace verlo más claramente que la natural generalización del principio de relatividad especial.

Según la teoría de relatividad especial, las ecuaciones que expresan leyes naturales generales se transforman en ecuaciones de la misma forma, cuando, en lugar de las variables de espacio y tiempo,  $x, y, z, t$ , de un cuerpo de referencia (galileano)  $K$ , se introducen las  $x', y', z', t'$ , respecto a otro  $K'$ , por medio de las ecuaciones de LORENTZ. En cambio, según la teoría relativista general, las ecuaciones deben transformarse en otras de la misma forma cuando se realice un cambio cualquiera de variables gaussianas  $x_0, x_1, x_2, x_3$ , pues toda transformación (no sólo las de LORENTZ) corresponde al paso de un sistema coordinado gaussiano a otro.

Si no se quiere renunciar a la acostumbrada manera de ver tridimensional, se puede caracterizar como sigue el proceso de las transformaciones que vemos experimentar al pensamiento fundamental de la teoría de la relatividad general. La relatividad especial se refiere a dominios galileanos, esto es, a aquellos en los que no existe ningún campo gravitatorio; como cuerpo de referencia se utiliza un cuerpo de referencia galileano, es decir un cuerpo rígido con un estado de movimiento elegido de tal modo, que, respecto a él, sea cierto el teorema de GALILEO acerca del movimiento rectilíneo uniforme de los puntos materiales "aislados".

Ciertas consideraciones conducen a referir estos dominios galileanos a cuerpos de referencia no galileanos. Entonces relativamente a éstos existe un campo gravitatorio de naturaleza especial.

Pero en los campos gravitatorios no existen cuerpos rígidos con propiedades euclidianas; la ficción de un cuerpo de referencia rígido fracasa, por tanto, en la relatividad general. La marcha de un reloj está influida también por los campos gravitatorios, de tal modo, que una definición física directa del tiempo mediante relojes no tiene en absoluto el grado de evidencia que en la relatividad especial.

Por esto se utilizan cuerpos de referencia no rígidos, los cuales no sólo se mueven arbitrariamente, sino que experimentan durante su movimiento cambios cualesquiera de forma. Para la definición de tiempo sirven relojes de ley de movimiento arbitrario, tan irregular como se quiera; los relojes se suponen fijos en cada punto del cuerpo no rígido, y sólo cumplen la condición de que los datos simultáneamente perceptibles en dos relojes puestos en lugares próximos, se diferencien entre sí infinitamente poco. Este cuerpo de referencia no rígido que sin injusticia podría llamarse *molusco de referencia*, es, en esencia, equivalente a cualquier sistema coordinado gaussiano cuatrimen-

sional. Lo que da al *molusco* cierto carácter intuitivo frente al sistema coordinado gaussiano, es la persistencia formal (realmente injustificada) de la existencia propia de las coordenadas espaciales frente a la coordenada del tiempo. Todo punto del *molusco* se considera como punto del espacio; todo punto material inmóvil respecto a él se considera pura y simplemente en reposo mientras el *molusco* se tome como cuerpo de referencia. La relatividad general exige que todos estos *moluscos* puedan ser utilizados con la misma razón y el mismo éxito como cuerpos de referencia para la formulación de las leyes naturales; las leyes deben ser completamente independientes de la elección del *molusco*.

Expuesta la posibilidad de un espacio finito —espacio tridimensional esférico— no limitado, concluye EINSTEIN su exposición con el siguiente párrafo que demuestra su concepción del espacio:

“Según la teoría de la relatividad general, las propiedades del espacio no son intrínsecas, sino condicionadas por la materia. De aquí que sólo pueda inducirse algo acerca de la estructura geométrica del Universo, cuando se tome como base para el razonamiento el estado de materia, supuesto conocido. La experiencia nos enseña que para un sistema de coordenadas convenientemente elegido, las velocidades de las estrellas son pequeñas respecto a la propagación de la luz. Podemos, pues, conocer en sus líneas generales la constitución del Universo en una primera aproximación, suponiendo la materia en reposo.

Sabemos ya por los razonamientos anteriores, que el comportamiento de escalas y relojes está influido por el campo gravitatorio, es decir, por la repartición de la materia. Se sigue de aquí que no puede hablarse de una exacta validez de la Geometría euclídea en nuestro Universo. Pero también puede imaginarse que nuestro Universo difiere muy poco del euclidiano, hipótesis tanto más verosímil cuanto que el cálculo demuestra que, aun masas de tanta magnitud como nuestro sol, influyen muy débilmente en la métrica del espacio circundante. Podría representarse nuestro Universo desde el punto de vista geométrico, como una especie de superficie de curvatura irregular en sus diferentes puntos, pero que nunca difiere mucho de un plano, algo así como la superficie de un lago rizado por pequeñas olas. Un espacio de esta naturaleza lo podríamos llamar, con razón, *casi euclídeo*, y sería espacialmente infinito. Pero el cálculo prueba que en un espacio *casi euclídeo* la densidad de la materia debe ser nula. Un Universo así no podría, pues, estar en todas sus partes poblado de materia; presentaría el cuadro poco satisfactorio de una isla finita perdida en el infinito.

Pero si en el Universo existe una densidad media de materia,

aún cuando difiera muy poco de cero, el Universo no es casi euclídeo. El cálculo prueba, por el contrario, que con materia uniformemente repartida es necesariamente esférico (o elíptico). Como la materia está realmente repartida de modo irregular, el universo efectivo no se comporta completamente como el esférico; es, por tanto, casi esférico. Pero debe ser necesariamente finito. La teoría da una relación (14) sencilla entre la extensión espacial del universo y la densidad media de la materia en el mismo" (15).

### IMPUGNACIONES FILOSÓFICAS

Algunos filósofos no han vacilado en afirmar que la teoría de la relatividad era el relativismo aplicado a la Física. Para probar su apreciación han aducido algunas expresiones de EINSTEIN —de otros físicos no nos ocuparemos aquí— que pueden inducir a confusión: así, por ejemplo, la afirmación de que no se puede hablar de la trayectoria de un móvil, de que en la realidad no es válida la ley de composición de velocidades, etc. (16). Con su acostumbrada brillantez ha dicho ORTEGA Y GASSET frases como la siguiente: "Para la física de EINSTEIN, nuestro conocimiento es absoluto, la realidad es la relativa" (17).

Para ver si aquellas aprensiones son justificadas y, sobre todo, para ver si se puede admitir lo filosófico que hay en la teoría de la relatividad, vamos a someter a ésta a una dura prueba: a ser examinada por la filosofía que mejor ha sabido armonizar, a nuestro parecer, lo sensible y lo ideal; que al no apoyarse en teorías científicas, sino en la observación cierta de las cosas, podemos utilizarla como adecuado instrumento de trabajo.

Entre los filósofos escolásticos nos ha parecido muy digno de tenerse en cuenta SUÁREZ.

SUÁREZ, efectivamente, llega al campo escolástico en una

---

(14) El "radio"  $R$  del universo viene dado por la ecuación

$$R^2 = \frac{2}{\rho}$$

en la que  $\rho$  = densidad media de la materia, y en unidades cegesimales es

$$\frac{2}{\rho} = 1,08.10^{27}$$

(15) A. EINSTEIN. O. c., pág. 65-66.

(16) A. ROLDÁN, "Fundamentos del relativismo filosófico". Pensamiento I (1945), pág. 202.

(17) JOSE ORTEGA Y GASSET, "El tema de nuestro tiempo". Apéndices. Obras completas, III, pág. 233. Rev. de Occ., Madrid, 1947.

época de intenso renacimiento. Las grandes aportaciones medievales son sometidas por él a una aguda crítica y sin integrarse en ninguna escuela, tiene la suficiente libertad de espíritu para seguir sus propios derroteros. Además, en este problema, no se aparta SUÁREZ en lo esencial del sentir común de los filósofos escolásticos.

Expongamos, pues, su doctrina del espacio y tiempo, prescindiendo del análisis que él hace de las doctrinas de otros filósofos.

### ESPACIO Y TIEMPO EN SUÁREZ

TIEMPO. — El durar es algo propio de las cosas, es un perseverar en el ser. Las criaturas duran en cuanto existen; los entes de razón no duran, sino solamente dura el acto mental con que se fingen. Así, pues, “durar” sólo puede predicarse de lo que existe actualmente y según la medida de su existencia.

Hay varias especies de duración:

a). — *Duración imaginaria*, concebida por nosotros, aunque las cosas no existan, como una sucesión perpetua en la cual pueden existir las cosas más o menos. ¿Esta duración es algo real? No. Ni se identifica con las cosas, ni siquiera se distingue de ellas más que como un no ser de un ser.

b). — *Duración extrínseca* de una cosa que puede compararse con la de otra y se distingue con una distinción real. La cosa no *dura* por esta duración, sino que por ella sólo se reconoce su duración propia.

c). — *Duración intrínseca*, necesaria en todo lo que existe, porque aun excluida la duración extrínseca, toda cosa dura en sí misma aún en el caso en que permaneciera en su ser completamente aislada.

Esta duración intrínseca de la cosa no se distingue de la existencia misma; no dice más que perseverancia en el ser, connota una anterioridad de existencia, anterioridad que por sí no dice *tiempo* sino en nuestra imaginación; por sí, sólo quiere decir que, señalado un punto de existencia, la duración presupone otros puntos de existencia, sean reales, sean concebidos por la mente. Tengamos presente, para advertir la fuerza de esta identidad real, que durar = permanecer siendo; permanecer siendo = retener la misma existencia.

La cosa en tanto dura en cuanto existe, en tanto dura en cuanto persevera en el ser.

Que entre duración y existencia media distinción de razón, una vez rechazada la distinción real, no hay porqué probarlo, pues ambas formalidades no son sino sinónimas.

¿Qué es esta duración? SUÁREZ, analizadas las diversas sentencias, nos propone la suya: "duración es la positiva permanencia en el existir, sea este existir permanente o sucesivo" (18).

Para que aparezca más claro, nos lo explica con una paridad: es la duración a la existencia, lo que la conservación a la producción, aunque hay aquí alguna desemejanza: la producción niega existencia anterior, la existencia sólo prescinde de ella. Además, todos los seres existen y duran; pero no todos —Dios— son producidos ni conservados.

De lo dicho se sigue que *habrá tantas clases de duraciones como de existencias*. Por tanto nos toca investigar *cuál sea la duración temporal*.

Que se dé el tiempo, es algo evidente a todos. Lo que se debe estudiar es la esencia de este tiempo. Antes, digamos que por tiempo intrínseco entendemos la *duración real sucesiva*.

Ahora bien: todo ser que existe realmente, permaneciendo en su existencia, tiene una duración proporcionada a su ser. Y como se dan entes que duran sucesivamente, en éstos se dará lo que entendemos por tiempo intrínseco. Pero lo único que dura sucesivamente es el ser que está *in fieri*, es decir, el movimiento. Por consiguiente, *tiempo es la duración del movimiento*.

De ahí se sigue algo muy importante:

*Hay tantos tiempos como movimientos*, porque cada movimiento tiene su ser y por tanto su propia duración.

Y así, serán tiempos físicos los que se consumen en los movimientos corporales. Estos tiempos son los únicos que por ahora nos interesan.

Como hemos propuesto el tiempo intrínseco, a modo de duración, no hay porqué probar de nuevo la distinción de razón entre el movimiento y su tiempo; pues movimiento sólo dice vía hacia un término, mientras que el tiempo dice la permanencia en el ser que tiene tal movimiento.

Ahora bien: puesto que el tiempo se concibe como algo extenso, como un espacio, por así decirlo, fluyente de continuo, viene la pregunta de si puede medirse. Y en realidad nosotros medimos la duración de las cosas.

Es evidente que para medir la duración de las cosas deberemos tomar una unidad homogénea a ella. ¿Cuál será tal unidad?

Ningún movimiento es por sí mismo medida de los demás; porque en ninguno se halla la tal partición y designación de partes que es necesaria para una medida, sino que tales propiedades dependen únicamente de la razón y arbitrio humanos. Pe-

---

(18) FRANCISCO SUÁREZ, S. J., DM L. s. II, n.º 10. Obras completas, T. 26, pág. 919. Ed. Luis Vives, París, 1866.

ro hay un movimiento que es por sí mismo más apto: el movimiento "ad sensum" del cielo, en el cual la capacidad de ser tomado por medida es una propiedad real suya, pues el tal movimiento es conocido de todos, certísimo —no susceptible de falacias— y regularísimo. Por otra parte, su gran velocidad hace que sea útil para medir tiempos pequeñísimos. Aunque no se pierde de vista que al ser tomado tal movimiento por medida de los demás depende sólo del arbitrio humano.

Y la medida de las duraciones de las cosas, según este tiempo celeste, será el *tiempo extrínseco* de ellas. De ahí ya podemos deducir que todos los movimientos físicos y corpóreos son susceptibles de medida por ese tiempo privilegiado. ¿Y qué es lo medido? La duración, la permanencia en el ser de tales movimientos. Asimismo, añadida la noción de espacio, medirá la mayor o menor velocidad, la uniformidad o aceleración ya negativa, ya positiva. Pero adviértase que el tiempo como tal no mide los movimientos, sino un movimiento más perfecto —como medida— mide otros movimientos. Sólo se fija el filósofo aquí en el aspecto de medida, no en la esencia íntima del movimiento celeste. Por esto su noción de tiempo permanece, sea la tierra quien se mueve alrededor del sol, sea el sol quien se mueva alrededor de la tierra.

Es evidente que también se podrán medir los actos espirituales, si tienen alguna conexión con acciones materiales. Y también es evidente que podrán ser medidas las sustancias corruptibles en su duración, no por sí mismas, sino por la duración de las mutaciones que sufren: generaciones, alteraciones, aumentaciones... Y, al medir éstas, mide de rechazo el ser que bajo ellas subsiste, pero sólo por razón de aquellas mutaciones señaladas.

Ahora bien, si se concibe el tiempo solar como algo carente de extremos, con absoluta regularidad *se tendrá el tiempo imaginario*. Y si este tiempo imaginario se desprende de todo vínculo con el ser del cual era duración, en virtud de una precisión mental, *tendremos el tiempo absoluto*, concebido como un gigantesco río que fluye sin cesar y mide las duraciones de las cosas sumergidas en su seno. Pero adviértase que hemos concebido como subsiste en sí mismo el durar de un movimiento. Tenemos un ente de razón fundado en aquella duración real, tenemos un ente matemático que puede ser objeto de ciencia matemática por haber prescindido de la materia. Pero lo concreto, lo existente en la realidad, no es ese tiempo, sino el tiempo intrínseco de las cosas.

El estar una cosa en el tiempo no es más que ser medida por el tiempo, que ser conocida por el tiempo como por una medida por un medio extrínseco de conocimiento. Y así, el estar



*tiempo* es una denominación de razón —como “ser conocido”— mientras que el *durar* es una denominación real.

ESPACIO. — También aquí rechaza SUÁREZ las sentencias que suponen el espacio como un cuerpo individual e inmaterial o como una cantidad separada de toda sustancia y teniendo sus dimensiones difundidas por todas partes. Tales espacios o serían eternos e increados, contra la causalidad, o serían creados y supondrían otro espacio anterior, o serían el mismo Dios.

Así, pues, el espacio, como algo distinto de los cuerpos que lo llenan, no es algo real y positivo, sino el vacío: que incluye en sí la carencia de cuerpos con aptitud de recibirlos; y tal espacio es donde se recibe un cuerpo. Pero este espacio como tal es *nada*: ni sustancia, ni accidente, ni algo creado ni increado. Con todo, no se entienda que es una capacidad real y pasiva, sino que, por su parte, más bien es una no-repugnancia y de parte de los cuerpos es la aptitud para ocupar tal espacio.

El espacio real que posee dimensiones reales, no es algo distinto del cuerpo, el cual, según nuestra manera de concebir, llena el espacio que de sí sería vacío y nada.

Pero, aunque el espacio en sí sea un vacío, esto no obsta para que el cuerpo pueda tener un modo real de existir y ocupar tal lugar; porque dicho modo no consiste en ninguna relación real al espacio o en una unión y contacto, sino en la sola presencia cuantitativa del mismo cuerpo, por razón de la cual allí donde se halla el tal cuerpo está el espacio real, que sin el cuerpo sería *nada*. De donde para el tal modo, no sólo no es impedimento que el espacio sea *nada*, sino que más bien es necesario que así sea.

Algunos dijeron que el espacio, aunque no un ser real, no es, sin embargo, algún fingido por una operación mental, sino algo verdadero, eterno e inmutable, porque en él se supone la verdadera capacidad de recibir los cuerpos con su extensión.

Pero, si ser y verdadero son convertibles, ¿por qué se dice verdadero a lo que no es ser?

Por consiguiente, el tal espacio es un ente de razón con fundamento en la realidad. En cuanto se aprehende el tal espacio como un ser positivo, distinto de los cuerpos, es un ente de razón; pero su fundamento estriba en los cuerpos en cuanto por su extensión son aptos para constituir espacios reales; no sólo los que ahora existen, sino todos los posibles.

Así, cuando se dice que un cuerpo está en el espacio, el “estar en” se debe tomar intransitivamente, porque no significa estar en otro, sino estar allí donde, quitado el cuerpo, concebimos el vacío. Y así, el “estar en” es verdaderamente un modo real del cuerpo, aunque el espacio sea por sí, como vacío o imaginario, una *pura nada*.

El espacio se concibe, pues, como un algo permanente e infinitamente extenso en todas sus dimensiones; el tiempo como un espacio sucesivo que se extiende de una eternidad a otra eternidad.

Y, de la misma manera que la duración sucesiva imaginaria abstraída del movimiento y concebida como algo independiente en que las cosas duran, es nada *en sí*, de la misma manera el espacio como extensión abstraída de los cuerpos y concebida como algo absoluto en que las cosas ocupan un lugar es también, *en sí, nada*.

### EINSTEIN - SUÁREZ

Nos toca ahora considerar si es compatible la concepción suareciana del espacio-tiempo con la teoría de la relatividad.

Tengamos en cuenta para ello que se debe distinguir el tiempo intrínseco y extrínseco de una cosa. ¿Con cuál de los dos se identifica el tiempo físico de EINSTEIN? Para él, tiempo físico = tiempo de un suceso; es la hora marcada por el reloj contiguo; la duración de un fenómeno medida por la duración intrínseca de un movimiento. Ya podemos, pues, advertir que se trata aquí del *tiempo extrínseco* del fenómeno.

Más aún: esta concepción exige *simultaneidad de duraciones*. Y esta simultaneidad la define EINSTEIN con un *criterio experimental*: *el ver simultáneamente los dos sucesos si me coloco en un punto equidistante de ambos*. Téngase en cuenta que esto no presupone teoría alguna sobre la luz, y sí un convenio meramente experimental.

Fijado este convenio, no nos cuesta admitir que dos sucesos simultáneos respecto de un sistema de referencia, no lo son respecto de otro. A cada sistema corresponde un tiempo —simultaneidad de duraciones— propio, y *dar un tiempo —simultaneidad—, carece de significación si a la vez no se da el cuerpo a que está referido*.

Consecuencia inmediata: la medida de una duración —su tiempo físico—, es distinta según se tome respecto de un sistema o de otro. ¿Cuál es la verdadera? La pregunta no tiene sentido: son verdaderas las dos, porque el concepto declarado de tiempo físico coincidente con el tiempo extrínseco de SUÁREZ es *esencialmente relativo*, es decir, esencialmente dependiente de la unidad de medida. Si la unidad varía, variará también el tiempo físico. Todo el escándalo ante este hecho se funda en una confusión entre tiempo intrínseco y extrínseco.



Si trasladamos la consideración al espacio, hallamos la misma correspondencia: el espacio real suareciano coincide con la extensión einsteniana; el espacio imaginario, con el espacio unidad de medida. Si la unidad varía, variará el espacio extrínseco, la medida de la cosa. Y como la unidad de medida es algo esencialmente dependiente de nuestros sentidos y éstos están sujetos a la velocidad de la luz en sus aprehensiones, de aquí que varíen las medidas según los distintos sistemas de referencia.

Para EINSTEIN la relatividad es pues relatividad *de medidas*, sin considerar para nada la entidad de la cosa medida; la cual, por lo demás, escapa al análisis empirométrico de la fisico-matemática.

\* \* \*

Hasta ahora hemos analizado la teoría de la relatividad restringida. Pasemos a la relatividad generalizada. En ésta, al hablarse de un espacio sujeto a la gravitación, en el cual no se da el continuo cartesiano, se refiere EINSTEIN al espacio real suareciano, a una extensión que sería por sí euclídea, pero que es modificada por las fuerzas que sobre ella actúan. En la IV parte trataremos de las metageometrías.

En esta relatividad generalizada, los acortamientos temporales podemos asegurar que son reales, de donde en cada punto del espacio habrá un tiempo distinto según la gravedad del punto en cuestión. Mas ¿importa esto algo contra la doctrina suareciana? No, evidentemente. Concede SUÁREZ que la duración de las sustancias como tales no es susceptible de medida temporal, pero sí las mutaciones que se dan en las sustancias. ¿Y qué tiene de particular que dichas sustancias experimenten sus mutaciones con mayor o menor velocidad en unos puntos que en otros? ¿Acaso tales mutaciones no pueden ser afectadas por la gravedad, por la distinta velocidad de traslación?

Parece que el mismo SUÁREZ haya salido al paso de esta dificultad en la D. M. L. s. IX, 4-7 (19). Para él no es lo mismo el *tiempo intrínseco* de la cosa que la *co-existencia con otra duración* (aquí, sería la coexistencia con la duración de un reloj), sea esta otra duración real o imaginaria.

En el mismo movimiento —de la mutación de una sustancia—, la real duración es la misma, porque el ser real de tal mo-

vimiento es el mismo y, consiguientemente, es la misma su permanencia real; aunque dicha duración, por comparación a un movimiento extrínseco o a una sucesión imaginaria, puede durar más o menos, según el tránsito más o menos veloz de aquel movimiento. Por consiguiente, un movimiento igual puede durar más o menos, lo cual no proviene de que tenga mayores o más partes su duración, sino de que tiene tales partes más o menos transeúntes, más o menos cuasi-comprimidas y conjuntas, lo cual proviene de la velocidad del movimiento.

De esto se sigue que el tiempo interno no sigue al movimiento absoluto, sino a *tal* movimiento que se da en la realidad. Y así no se distingue la razón de movimiento de tal movimiento, y, consiguientemente, tampoco la duración incluida en cualquiera de ellos. Y así como el movimiento veloz y el lento se distinguen entre sí en la realidad, no es de maravillar que tengan también duraciones o tiempos distintos, no por poseer una mayor realidad esencial, sino por su propio modo.

Solamente se distinguen los tiempos del tiempo absoluto, y ya sabemos que esta distinción es de razón, o más bien real negativa, puesto que el tiempo absoluto es un ente de razón. Y EINSTEIN *trata solamente de los tiempos reales en su faceta extrínseca*; de aquí que por comparación al movimiento absoluto pueden ser llamados con razón tiempos más largos o más cortos.

De todo lo dicho, una cosa se infiere: que la teoría de la relatividad es compatible con la filosofía perenne. En el capítulo siguiente, al contestar a las impugnaciones escolásticas, quedará más claro este aspecto.

## CONTESTACIÓN A LAS CRÍTICAS

Ya hemos dicho que la impugnación contra EINSTEIN parte de algunas frases de éste y de la interpretación de algunos escolásticos. Como las "frases" no son muchas, vamos a criticarlas nosotros.

Una de ellas es la siguiente: "... no hay una trayectoria, (curva descrita por un móvil), sino solamente trayectoria respecto de un cierto cuerpo de referencia" (20).

No vemos la razón de la impugnación. La corrección que se le propone: "no puede determinarse físicamente la trayectoria absoluta del móvil" (21), carece de sentido. Físicamente una

---

(20) A. EINSTEIN. O. c., pág. 5.

(21) A. ROLDÁN. O. c., pág. 202.

trayectoria absoluta no existe. Trayectoria dice lugar relativo a un sistema de coordenadas. Si es, pues, un concepto intrínsecamente relativo, es inútil hablar de trayectorias absolutas.

Recordemos los diversos sentidos de la palabra "relativo".

Es relativo:

1.º — Lo que no puede concebirse plenamente sin pensar en otro ser. Se opone a absoluto. Es este un sentido metafísico.

2.º — Lo que por ser múltiple o *compuesto* es capaz de admitir predicados diversos respecto a diversos observadores o de uno mismo colocado bajo distintos puntos de vista. Se opone a simple —a simple en su virtualidad, no al ser actualmente simple y virtualmente múltiple. Es un relativismo extrínseco. Es un sentido físico de la palabra "relativo".

3.º — El ser admite intrínsecamente —por el mismo observador y bajo el mismo aspecto— predicados contradictorios. Se opone a inmutable, verdadero. Es un sentido criteriológico.

Pues bien, el único relativismo que aparece en EINSTEIN es el segundo, el relativismo físico. El primero, no le interesa, porque tiene un sentido metafísico, analiza el ser como ser. El tercero lo rechaza implícitamente, pues admite EINSTEIN que en un mismo sistema todos los valores son iguales para todos los observadores. Y abraza, con todo derecho, el segundo, puesto que tiempo físico o tiempo extrínseco, espacio real medido, trayectoria respecto a un sistema de coordenadas, masa sujeta a una velocidad, etc., son conceptos compuestos intrínsecamente relativos, por depender de un término que es, además, en sí variable.

Hablar de tiempo o espacio absolutos es una transposición metafísica no legítima en nuestro caso. Pero hablar de trayectoria y masa absolutas es contradecir la esencia misma del concepto.

No tiene, entonces, sentido preguntar: ¿Dios no conocerá la trayectoria absoluta de un móvil? No vacilamos en contestar: si ésta es imposible, no la conocerá. Si se aniquilaran todos los sistemas de referencia, el cuerpo extrínsecamente —que esto es "trayectoria"— no se movería; aunque no queremos entrar aquí en la discusión de si intrínsecamente se movería al cambiar de "ubi". Es esta una cuestión que ahora no nos interesa.

Por las mismas razones, puede sostenerse la afirmación de que es inválida la ley clásica de composición de velocidades, no sólo que "no es comprobable experimentalmente" (22), como algunos quisieron corregir. Si en la ley no se tenía en cuenta la propagación temporánea de la luz ni, por consiguiente, la simultaneidad física, con pleno derecho, al fallar la base de di-

---

(22) A. ROLDÁN, l. c.

cha ley, se puede afirmar que en la realidad no se da, que es una abstracción que tiene solamente un valor límite y útil. Pero jamás será una adecuación con lo real.

También se ha impugnado su apreciación de la simultaneidad. Y también con prejuicio. De la única simultaneidad de que habla EINSTEIN es de la física, y ésta sólo la puede conocer por un criterio experimental. La simultaneidad metafísica, (que tendrá su aplicación real al mundo concreto en los fenómenos anímicos), es un concepto distinto, análogo si se quiere, pero no idéntico al concepto físico, único del que trata EINSTEIN.

Finalmente, y por el mismo camino, se le ha negado su afirmación de que no existe movimiento absoluto. Y sin embargo está en su perfecto derecho al hacer esta afirmación; físicamente no existe más que el movimiento referido a un sistema. Y de este movimiento habla EINSTEIN, no del concepto metafísico que se realiza en el mundo concreto en un ser existente como un acto suyo, y en cuanto está en potencia, sino a un acto ulterior.

La afirmación de que no se puede conocer entre dos cuerpos en movimiento cuál de los dos lo está, o si ambos, no debe desorbitarse. No es más que una consecuencia de que carecemos de medios para poderlo apreciar desde un lugar utópico desde el que pudiéramos observar todas las cosas sabiendo ciertamente que nosotros no nos movíamos. Mientras no dispongamos de tal privilegio no podemos pedir ninguna certidumbre matemática. Y por otra parte, esta capacidad cognoscitiva no comporta ningún relativismo filosófico, puesto que queda a salvo el concepto de movimiento.

Y para acabar: téngase presente que los "espacios y tiempos tradicionales" ~~que han venido abajo han sido los newtonianos, leibnizianos, kantianos.~~ Precisamente ante esta bancarrota de la filosofía racionalista, han vuelto los hombres a considerar si el espacio y el tiempo —extensión y duración— no serían tal vez propiedades de las cosas sujetas en su manifestación al relativismo inherente al conocimiento sensible y al de conceptos esencialmente relativos.

### *Crisis final*

En realidad, resolviendo las dificultades filosóficas que contra la teoría de la Relatividad se iban proponiendo, hemos vindicado suficientemente el pensamiento de EINSTEIN. Sin embargo, por su trascendencia, queremos todavía discutir un poco más algunas consecuencias de dicha teoría.

Del relativismo intrínseco de los conceptos de trayectoria, masa, tiempo físico, espacio medido, hemos hablado ya y hemos resuelto las impugnaciones que los atacaba.

Queremos decir aquí algo sobre cierta afirmación que suena a positivismo. En la p. 12 de su obra *Teoría de la relatividad especial y general* (Trad. de Lorente de Nó, Madrid, 1921) dice:

“El concepto existe para el físico desde el momento en que hay posibilidad de comprobarlo en casos concretos, y por consiguiente se hace precisa una definición de simultaneidad que por su propia naturaleza dé el método para decidir en casos concretos y por medio de la experimentación si las dos incidencias del relámpago son o no simultáneas.”

Muchos han querido ver aquí un excesivo positivismo. Sin embargo, hasta aquí hemos de conceder a EINSTEIN la razón: un concepto existe para el físico, mientras cae dentro de lo comprobable. Hasta aquí no hay dificultad. Pero luego vienen otras palabras más llamativas:

“... Mientras esta condición no sea satisfecha, como físico (y también como no físico) me engaño a mí mismo si creo poder atribuir un sentido a la afirmación de simultaneidad”(23).

También aquí tiene EINSTEIN razón. Nuestros conceptos se forman *a posteriori*. Estamos ciertos de la posibilidad de las ideas intuitivas, porque las hemos formado por una intuición de lo real. Pero de las ideas ficticias desconocemos su posibilidad intrínseca positiva hasta que comprobamos su correspondencia con la realidad, hasta que las hemos sometido a una prueba de legitimidad. Mientras tanto no eran más que ideas hipotéticas que podrían carecer por completo de contenido representativo. Nada más que esto pide EINSTEIN: partir de una intuición de simultaneidad física o por lo menos poseer una prueba física de la existencia de la simultaneidad. Consta que por permanecer en un análisis empiriológico, no hemos de desplazarnos al terreno metafísico en el que también son legítimas las pruebas, pero que aquí no nos interesan.

Para que se vea la mentalidad realista de EINSTEIN, citamos dos frases suyas:

“Con la palabra *cierto*, en definitiva, entendemos expresar la correspondencia de una afirmación con un ente real”. Para EINSTEIN *cierto* parece ser sinónimo de verdadero (24).

“A los conceptos geométricos responden, con más o menos

(23) A. EINSTEIN. O. c., pág. 12.

(24) A. EINSTEIN. O. c., pág. 2.

exactitud, entes reales los cuales, en definitiva, son la causa única que ha dado origen a tales conceptos" (25).

Aunque de una manera poco precisa tal vez, creo que podemos ver aquí la doctrina de la abstracción.

Y no se pierda de vista que jamás hace EINSTEIN tránsito al plano filosófico. Su misma afirmación de que no ve claros los conceptos de espacio y lugar, lo manifiestan bien claro. Aunque también aquí podríamos concederle bastante a EINSTEIN en el terreno filosófico. El mismo SUÁREZ en DM.L.s.xi, n° 4, no vacila en afirmar la oscuridad del concepto de tiempo. Y lo mismo podríamos decir del espacio y el lugar.

Respecto al espacio cuatridimensional de MINKOWSKY, debe advertirse que tal expresión no significaba otra cosa que la pérdida para el tiempo de su valor absoluto, puesto que por la teoría de la Relatividad queda íntimamente ligado a un sistema de referencia y por ende a un espacio tridimensional. Entendemos aquí tiempo extrínseco.

En la relatividad general, el problema se circunscribe casi únicamente al espacio. El espacio de que habla EINSTEIN es un espacio real, al parecer continuo, puesto que en él se verifican las leyes de MAXWELL y está sometido a la gravitación. Tal espacio sería la extensión de las cosas incluidas en él.

Creo que en este espacio los acortamientos de relojes y escalas son reales y motivados por la gravedad. Pero esto no importaría más que relatividad del conocimiento sensible y de ninguna manera relatividad de esencias. Al fin y al cabo la coexistencia de una cosa permanente con una sucesiva puede ser mayor o menor, sin que haya variación en la esencia de la cosa; puesto que ésta permanece a través de toda aquella duración, (SUÁREZ, DM. L. s. ix n.° 4-5).

Una alusión tan sólo, a la cuestión de las metageometrías. Estas pueden tener un valor lógico, físico y ontológico.

En el aspecto lógico, tanto la geometría euclídea como las metageometrías son válidas.

Físicamente, la geometría euclídea no se puede aplicar sino en caso límite, puesto que sólo tiene aplicación en un espacio ideal no sujeto a la gravedad o en el que la densidad de la materia fuese nula. En cambio, las únicas geometrías válidas físicamente son las metageometrías, aplicables a espacios curvos.

El valor ontológico es más difícil de discernir. La extensión considerada como extensión y prescindiendo de la realidad, la

---

(25) A. EINSTEIN. O. c., pág. 2.

concebimos abstrayendo de lo que perciben nuestros sentidos. Ahora bien, nuestros sentidos por nuestra limitación, aprehenden partes del espacio real pequeñísimas en las que se verifica con gran aproximación la geometría euclídea y el error es físicamente inadvertible. De aquí que, al concebir la extensión (y al hacerlo no podemos prescindir de la imaginación) concibamos una extensión euclídea, y la construcción ontológica que hacemos sobre ella, sólo vale para la geometría euclídea. Pero las metageometrías ni siquiera las podemos imaginar como no las reduzcamos a la esfera de pseudoesfera euclídea. A mi parecer tal limitación no es más que una consecuencia de la limitación de nuestros sentidos, de los que no prescindimos absolutamente en la geometría. ¿Son posibles otros hombres que dotados de otra manera puedan atribuir valor ontológico a las metageometrías? Yo, por lo menos, no veo la imposibilidad.

Aún podríamos preguntar por la posibilidad de espacios de más de tres dimensiones. Aquí respondo esquemáticamente que sólo se ve la posibilidad intrínseca negativa, tal vez sea audaz afirmar su posibilidad positiva y más aún su posibilidad de existencia (26).

## CONCLUSIÓN

Emprendimos este estudio para analizar a la luz de la filosofía los conceptos de espacio y tiempo aducidos por EINSTEIN en su teoría física. Contrastados dichos conceptos con la filosofía de SUÁREZ, hemos visto que encajaban plenamente dentro de la misma.

Más aún, podemos afirmar sin temor a errar, que dicha física relativista es más compatible con dicha filosofía que la física newtoniana.

Hemos superado ya el racionalismo de los tres últimos siglos. Desde DESCARTES y NEWTON que establecieron sus grandes

---

(26) Un problema interesante sería el preguntarnos si a lo mejor vivimos ya en un espacio pluridimensional, pero que, por la ineptitud de nuestros sentidos, no lo podemos advertir. Es manifiesto que muchos animales sólo conocen dos dimensiones, y aun se ha llegado a afirmar que nosotros, desplazados a velocidades gigantescas, veríamos solamente una dimensión. No quiero discutir tales problemas. Sólo apunto éste: ¿vivimos ya en un espacio pluridimensional y no lo podemos percibir?

edificios físico-matemáticos a partir de postulados lógicos, ha corrido mucho caudal por el río de la ciencia.

La relatividad podrá no ser verdadera; pero, por lo menos, ha demostrado que tampoco la física clásica era más que una teoría, y que no se podía tomar como algo inconcuso para hacer sobre ella metafísica, que sólo era humana una actitud como la de SUÁREZ: "el uso me impone tal tiempo absoluto, tal espacio absoluto, porque es más práctico"; sin que implique esto pragmatismo exagerado, sino un sano realismo al que hemos de volver.

Lo expuesto prueba lo que sabían ya nuestros grandes filósofos: que sólo aproximadamente nos acercamos a la realidad; que nuestras teorías en tanto son válidas en cuanto explican la realidad; que nuestra filosofía es sana y recta cuando está firmemente apoyada en la realidad, hincados en ella sus pies y sin perderla de vista, al lanzarse por los maravillosos caminos de la idea.

¿Qué nos ha aportado de nuevo la relatividad? A los filósofos no escolásticos les ha hecho reconocer el tiempo y el espacio como atributos reales de los cuerpos y no como formas *a priori*. A los escolásticos les ha hecho caer en la cuenta del valor de su doctrina recalcando los conceptos de tiempo extrínseco y espacio medido, como algo intrínsecamente relativo, y de tiempo y espacio absolutos como entes de razón. Al mismo tiempo ha venido a afirmar la pluralidad de tiempo y espacios reales.

## BIBLIOGRAFIA

FRANCISCO SUÁREZ, S. J. *Disputationes Metaphysicas*. L. LI et LII.

A. EINSTEIN. *Teoría de la Relatividad especial y general*. Trad. de 12ª ed. alemana por F. Lorente de Nó. Madrid 1921. Revista Matemática Hispano-Americana.

J. ORTEGA Y GASSET. *El tema de nuestro tiempo*. Revista de Occidente, Madrid.

ALEJANDRO ROLDÁN, S. J. *Fundamentos del relativismo filosófico*, Pensamiento. Vol. I (1945), p. 181-206.

TEODORO WULF, S. J. *La Teoría de la Relatividad de Einstein*, Editorial Científico-Médica. Barcelona 1925.