

Sobre una nueva teoría de la relatividad

por

R. Ortiz Fornaguera

PRESENTADO POR EL ACADÉMICO D. JOSÉ M.^a OTERO DE NAVASCUÉS

SUMMARY

During the last few years a new form of relativistic theory has evolved from an approach to the epistemological bearing of relativity due to Prof. Palacios. The comparison of Palacios' new scheme with the conventional form of the special theory of relativity shows, however, that a renormalization procedure suffices to fill the gap between the two theories. The paper also presents some comments on the bases of the new theory.

En lo que sigue se compara la teoría de la relatividad debida al Prof. Palacios (1), con la einsteniana. De la comparación resulta que una renormalización adecuada hace pasar de un esquema al otro. Las bases de la nueva teoría se consideran desde el punto de vista de la teoría relativista clásica.

A) ASPECTOS FORMALES

El concepto de *sistema de referencia* es fundamental en toda descripción de los fenómenos físicos. El siguiente hecho refleja uno de sus aspectos más simples: al hablar de posición de un objeto men-

(1) Véase, por ej., JULIO PALACIOS, *Relatividad, una nueva teoría*. Espasa-Calpe, Madrid, 1960, citada como *Rel.*

tamos, implícita o explícitamente, posición respecto de otro objeto o sistema de objetos, los cuales constituyen así, y por esta razón, un sistema de referencia. Lo más frecuente es tomar como a tal un sistema de coordenadas cartesianas ortogonales, pero evidentemente esta elección no viene impuesta *a priori*, antes bien, en ciertos casos será más conveniente elegir, por comodidad, coordenadas esféricas, o cilíndricas o incluso más generales.

Ahora bien, imaginemos elegido un sistema de coordenadas cartesianas S y supongamos que respecto de él se han determinado las coordenadas (x, y, z) de un punto material. Claro está que, físicamente, bien poco es decir de éste que sus coordenadas son (x, y, z) . Hay que añadir algo más: el instante t en que se ha efectuado la medición de las coordenadas. Los cuatro números x, y, z, t fijan únicamente un *suceso*, es decir, lo que ocurre en (x, y, z) en el instante t . Tanto x, y, z como t son resultados de mediciones físicas efectuadas con instrumentos, con objetos físicos y de acuerdo con criterios en parte *a priori* —leyes geométricas de la geometría adoptada— y en parte físicos, es decir, leyes físicas, por ejemplo propagación rectilínea de la luz o rigidez de las reglas elegidas para determinar longitudes. Por todo ello, cuando se habla de un *sistema de referencia*, deberá entenderse un sistema de coordenadas y un dispositivo cronométrico.

Según la ley primera de Newton (el principio de inercia) un punto material abandonado a sí mismo o está en reposo o se mueve con movimiento uniforme. Esta proposición tiene sentido sólo si se ha precisado el sistema de referencia con relación al cual la proposición se postula como verdadera. Este sistema de referencia S_0 es para Newton el sistema de referencia absoluto. Su componente espacial es el *espacio absoluto*, su componente temporal el *tiempo absoluto*. La experiencia prueba que el sistema de las llamadas estrellas fijas, considerado como un todo, se encuentra aproximadamente en reposo respecto del espacio absoluto. Dicho de otra manera: un sistema de ejes ligados invariablemente al centro de masas del universo y al conjunto de las direcciones de las estrellas prácticamente fijas (ejes de Copérnico) define el espacio absoluto, y el tiempo que resulta de la observación de los movimientos de los cuerpos celestes en dicho sistema define el tiempo absoluto.

Es claro que no puede haber razón alguna que impida llamar sistema de referencia absoluto al sistema S_0 . Otra cosa es, en cambio,

el grado de arbitrariedad que, acaso, pueda encerrarse en la elección de S_0 como sistema absoluto. Por ejemplo, dentro del marco de la mecánica de Galileo-Newton, cualquier sistema de referencia S en traslación uniforme respecto de S_0 (sistema inercial) equivale a S_0 , en el sentido de que las leyes newtonianas del movimiento son las mismas en S y en S_0 . En estas condiciones, y teniendo en cuenta que los experimentos de mecánica no se realizan en general en un sistema en reposo relativo respecto de S_0 , resultaría una complicación innecesaria reducir las mediciones al sistema absoluto. El sistema inercial en que la Tierra se encuentra en reposo en el instante considerado es equivalente a cualquier sistema inercial desde el punto de vista dinámico.

Se plantea ahora la cuestión de determinar las fórmulas que permiten pasar de la descripción de un fenómeno en un sistema inercial a la descripción del mismo fenómeno en otro sistema inercial. Ello supone, en primer lugar, la elección de patrones de longitud y de tiempo. Tanto en la mecánica de Galileo-Newton como en las teorías relativistas de Einstein y de Palacios, para simplificar las fórmulas se conviene en elegir patrones de longitud y de tiempo idénticos para todos los sistemas inerciales. Idénticos significa aquí que el patrón de longitud en S es congruente con el patrón de longitud en S' cuando ambos patrones se encuentran en reposo en un mismo sistema inercial cualquiera, y que lo mismo vale para los patrones de tiempo de S y de S' .

Acerca de estos últimos no hay que olvidar que todo reloj se caracteriza no sólo por su marcha, sino por su estado. La coincidencia de dos patrones de tiempo cuando se encuentran en reposo en un mismo sistema inercial significa coincidencia de marchas, pero no necesariamente coincidencia de estados. Así, en la mecánica newtoniana se postula la posibilidad de ajustar los relojes, supuestos idénticos, de todos los sistemas inerciales de forma que marquen el tiempo universal o absoluto. Esto no es posible en las teorías relativistas, ni aún en la de Palacios (Rel., págs. 71, 87). Como es sabido, en la base de esta diferencia se encuentra: a) el postulado del carácter invariante y el valor finito de la velocidad de propagación de la luz en el vacío; b) la circunstancia de que la *simultaneidad* es un concepto que hay que definir. Sin entrar en pormenores, bastará recordar cómo se introduce este concepto: dado un sistema inercial S se colocan relojes idénticos en todos los puntos de S en los

que se pretende medir el tiempo. En un punto O de S, arbitrariamente elegido, se coloca un reloj magistral R_0 y se emite desde O una señal luminosa en todas direcciones. Si t_0 es la hora de R_0 en el instante en que se emite la señal (2), se ajusta el estado del reloj R_p en P de forma que al llegar a P la señal marque $t_0 + \frac{l_0}{c}$ donde l_0 es la distancia O P medida con reglas en reposo en S. Esta sincronización se efectúa en todos los relojes fijos en S. De dos sucesos que ocurren en dos puntos arbitrarios P_1 y P_2 se dirá que son *simultáneos* en S cuando los relojes R_{p1} y R_{p2} marquen la misma hora cuando dichos sucesos ocurren. Se puede demostrar que esta definición de simultaneidad es independiente del punto O en que se coloque el reloj magistral y del instante t_0 en que se emite la señal reguladora. En formas en esencia idénticas la encontramos en la teoría de Einstein y en la teoría de Palacios.

Las diferencias entre ambas teorías empiezan no bien se trata de comparar los tiempos de dos sistemas inerciales, y son consecuencia de la sustitución del principio de relatividad especial de Einstein por dos postulados que Palacios formula de la siguiente manera :

a) Entre todos los sistemas inerciales existe «un sistema privilegiado, el que ha permanecido invariablemente ligado al sitio de la Creación. Este sistema, por gozar de tal privilegio, merece ser llamado espacio en reposo por antonomasia, y también merecen la designación de espacio absoluto y de tiempo absoluto los conceptos abstractos derivados de las mediciones realizadas con metros y relojes solidarios del mismo» (Rel., pág. 45).

b) «La duración de un suceso que transcurre en un lugar fijo de un sistema inercial cualquiera ha de ser igualmente apreciada desde el sistema en reposo» (Rel., pág. 69) (3).

Al igual que Einstein, Palacios postula el principio de inercia (existencia de sistemas inerciales) y la invariancia de la velocidad de la luz. De estos dos postulados se sigue que si los ejes X y X' de dos sistemas inerciales S y S' coinciden y son paralelos a la dirección del movimiento del uno respecto del otro, si los ejes Y, Z son paralelos a los Y', Z' y si los estados de los relojes en los orígenes

(2) La simultaneidad de dos sucesos que ocurren en un mismo punto se admite aquí como concepto primario.

(3) Suceso se emplea aquí en el sentido de proceso.

O y O' se han ajustado de modo que sea $t = t' = 0$ cuando coinciden O y O', entre las coordenadas (x, y, z, t) y (x', y', z', t') de un mismo suceso en S y en S' se tienen las relaciones

$$\begin{aligned}x &= \frac{\rho}{\alpha} (x' + v t'), \\y &= \rho y', \\z &= \rho z', \\t &= \frac{\rho}{\alpha} \left(t' + \frac{v}{c^2} x' \right),\end{aligned}\tag{1}$$

donde ρ es una constante, α se define por

$$\alpha = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}\tag{2}$$

y v es la velocidad de S' con relación a S.

Para determinar ρ hace falta una nueva condición. Si se acepta el principio de relatividad, las fórmulas inversas [1] deben poderse obtener sin más que permutar las cuaternas (x, y, z, t) y (x', y', z', t') , a la vez que se cambia v por $-v$. Se obtiene así:

$$\rho = 1 \tag{Einstein} \tag{3}$$

Si se aceptan los postulados de Palacios a) y b) y se identifica S con el sistema de referencia absoluto S_0 , la condición $t_2 - t_1 = t'_2 - t'_1$ siempre que $x'_2 = x'_1$ da para ρ :

$$\rho = \alpha \tag{Palacios} \tag{4}$$

En general, si a^{μ}_{ν} son los coeficientes de la *transformación de Lorentz* que conduce del sistema inercial S' al absoluto S_0 de Palacios, se tendrá:

$$x^{\mu} = \alpha' \cdot a^{\mu}_{\nu} x'^{\nu} \tag{5}$$

con

$$\alpha' = \sqrt{1 - \frac{v'^2}{c^2}} \tag{6}$$

y v' igual a la *velocidad absoluta* de S' . Por consiguiente, si S'' es otro sistema inercial caracterizado por la velocidad absoluta v'' , las fórmulas que ligán las coordenadas de un mismo suceso en S' y S'' serán, según Palacios,

$$x'^{\nu} = \frac{\alpha''}{\alpha'} b_{\mu}^{\nu} a_{\rho}^{\mu} x''^{\rho} = \frac{\alpha''}{\alpha'} A_{\rho}^{\nu} x''^{\rho} \quad (7)$$

donde

$$\alpha'' = \sqrt{1 - \frac{v''^2}{c^2}}$$

y A_{ρ}^{ν} es la transformación de Lorentz que lleva directamente de S'' a S' .

La fórmula [7] pone de manifiesto un hecho importante: en su aspecto cinemático se pasa de la teoría de Palacios a la de Einstein, y recíprocamente, mediante un proceso de renormalización. En efecto, de [7] se deduce que si las variables x'^{μ} se transforman de acuerdo con la transformación de Palacios, las variables

$$\xi'^{\mu} = \alpha' x'^{\mu} \quad (8)$$

se transformarán de acuerdo con la transformación de Lorentz. Por consiguiente, desde un punto de vista puramente formal, *basta renormalizar las unidades locales de longitud y de tiempo* para pasar de uno a otro modelo. El factor de renormalización depende de la velocidad absoluta del sistema inercial y viene dado por [2]. En estas condiciones, el modelo Palacios sería interpretado por un relativista «ortodoxo» (relativista-E) de la siguiente manera:

Los fenómenos cinemáticos se ajustan a la cinemática de Einstein. Sin embargo, los observadores inerciales han convenido en elegir como privilegiado un cierto sistema inercial S_0 —que llaman absoluto— y en adoptar como patrones de longitud y tiempo en cada sistema inercial S' no los patrones universales U_L y U_T , sino los patrones

$$U'_L = \alpha' U_L, \quad U'_T = \alpha' U_T, \quad (9)$$

donde α' se define mediante [6], con v' igual a la *velocidad absoluta* de S' . Con estas nuevas unidades, las fórmulas de Lorentz pasan

a ser las de Palacios. Obsérvese que como absoluto puede elegirse *a priori* cualquier sistema inercial.

Recíprocamente, el modelo Einstein podría ser interpretado por un relativista que siga las ideas de Palacios (relativista-P) de la siguiente manera:

Los fenómenos cinemáticos se ajustan a la cinemática de Palacios. Sin embargo, los observadores inerciales han convenido en renormalizar sus patrones de longitud y de tiempo adoptando en vez de los patrones universales U_L , y U_T los patrones U'_L y U'_T , definidos por

$$U'_L = \frac{1}{\alpha'} U_L, \quad U'_T = \frac{1}{\alpha'} U_T, \quad (10)$$

donde α' tiene el mismo valor que en [9]. Con estas nuevas unidades, las fórmulas de Palacios pasan a ser las de Lorentz.

Resumiendo, en lo que concierne a las coordenadas de los sucesos, el relativista-E considera que el relativista-P ha adoptado patrones renormalizados en vez de los universales. El relativista-P considera, claro está, todo lo contrario (4).

En cuanto a la dinámica y a la electrodinámica, no introducen *nuevas* diferencias entre el modelo Palacios y el modelo Einstein. La definición del impulso y sus leyes de transformación al pasar de un sistema inercial a otro son las mismas (Rel., pág. 173), lo que lleva al mismo valor de la unidad de masa en cualquier sistema inercial. Por otra parte, las ecuaciones de Maxwell conducen en ambos casos a la invariancia de la carga eléctrica, en reposo o en movimiento (Rel., pág. 201). También la fuerza de Lorentz tiene la misma expresión en uno y otro modelo (Rel., pág. 209).

He aquí algunos ejemplos de que el mero cambio de unidades de longitud y tiempo [9] o [10] conduce de las ecuaciones de uno de los modelos a las del otro.

(4) A la misma conclusión llega Romain partiendo de un sistema de cinco postulados (J. E. ROMAIN, *On some misconceptions about relativistic co-ordinate transformations*, «Nuovo Cimento», 30, 1254-1271 (1963)).

a) *Transformación de coordenadas*

Si a^μ_ν , son los coeficientes de la transformación de Lorentz que permite pasar del sistema inercial S' al S'' , en *unidades universales* es, según Einstein,

$$x'^\mu = a^\mu_\nu x''^\nu \quad (11.E)$$

y según Palacios,

$$x'^\mu = \frac{a''}{a'} a^\mu_\nu x''^\nu \quad (11.P)$$

En unidades renormalizadas, en cambio, las ecuaciones [11.E] se escriben, de acuerdo con [9],

$$\xi'^\mu = \frac{a''}{a'} a^\mu_\nu \xi''^\nu \quad (12.E)$$

y las [11.P], de acuerdo con [10]:

$$\xi'^\mu = a^\mu_\nu \xi''^\nu \quad (12.P)$$

Por tanto, si *sólo* se sabe que las coordenadas se transforman mediante fórmulas del tipo [11.E], no es posible decidir si se trata de fórmulas relativistas-E [11.E] o de fórmulas relativistas-P renormalizadas [12.P]. Recíprocamente, que las coordenadas se transformen según fórmulas del tipo [11.P] puede significar que corresponden al modelo de Palacios [11.P] o al modelo Einstein renormalizado [12.E].

b) *Período de un reloj de Fokker*

Si T_0 es el período del reloj en reposo en el sistema inercial S' , el período medido desde el sistema S es, según Einstein,

$$T = \frac{T_0}{a'}, \quad a' = \sqrt{1 - \frac{v'^2}{c^2}} \quad (13)$$

donde v' es la velocidad de S' respecto de S . Supuesta válida la relación [13] con unidades universales, el paso a unidades renormalizadas [9] da, supuesto que S es el sistema absoluto-P,

$$T = \frac{\tau' \alpha'}{\alpha'} = \tau', \quad (14)$$

donde τ' es el periodo en S' medido en unidades renormalizadas. La relación [14] coincide con la de Palacios (Rel., pág. 98). Sin embargo, no debe olvidarse que para un relativista-P la relación [14] refleja las mediciones con patrones universales, no con patrones renormalizados.

c) Constantes universales

Las constantes llamadas universales son universales en tanto que su valor sea el mismo en todo sistema inercial, supuesto que las unidades adoptadas son las mismas en todos ellos. Ahora bien, para un relativista-E, la adopción de patrones renormalizados puede enmascarar el carácter «universal» de una de tales constantes. Si

$$[a] = l^{\lambda} M^{\mu} T^{\tau} Q^{\alpha}$$

es la fórmula dimensional de a , la adopción de las unidades [9] da para su valor renormalizado en el sistema S'

$$a = \alpha'^{\lambda + \tau} a', \quad (14)$$

donde a es su valor en el absoluto-P. La relación [14] es la obtenida por Palacios (Rel., pág. 201), si bien para él el significado es otro: a' no es la medida de a en S' con unidades renormalizadas, sino con los patrones universales. Dicho de otra manera, para un relativista-E la relación [14] es resultado de un convenio; para un relativista-P dicha relación traduce una realidad física.

d) *Efecto Doppler*

Para un relativista-E, si el foco luminoso está en S' y el observador en S , entre la frecuencia observada ν y la frecuencia propia ν_0 existe la relación

$$\nu = \nu_0 \frac{\alpha'}{1 + \frac{v}{c} \cos \theta}, \quad (15.E)$$

donde v es la velocidad de S' respecto de S , y $\pi - \theta$ es el ángulo en S entre la normal a la onda y la velocidad v . Si el foco luminoso está en S y el observador en S' , se tiene para la frecuencia observada

$$\nu' = \nu_0 \frac{\alpha'}{1 - \frac{v}{c} \cos \theta'} \quad (16.E)$$

Según el mismo relativista-E, la renormalización [9] conduciría a las siguientes relaciones, cuando S coincide con el absoluto-P:

$$n = \frac{n'_0}{\alpha'} \frac{\alpha'}{1 + \frac{v}{c} \cos \theta} = \frac{n'_0}{1 + \frac{v}{c} \cos \theta}, \quad (15.E')$$

$$\frac{n'}{\alpha'} = n_0 \frac{\alpha'}{1 - \frac{v}{c} \cos \theta'} \quad \therefore \quad n' = n_0 \frac{\alpha'^2}{1 - \frac{v}{c} \cos \theta'} \quad (16.E')$$

Las fórmulas [15.E'] y [16.E'] coinciden con las de Palacios (Rel., páginas 147 y 149). De un modo análogo se pasa de las fórmulas einstenianas para la reflexión en un espejo móvil a las de Palacios (Rel., págs. 151 y 152).

e) *Vector fuerza*

En el modelo de Einstein las componentes del vector fuerza se transforman de acuerdo con

$$F'^{\mu} = a^{\mu}_{\nu} F''^{\nu}$$

La renormalización [9] conduce entonces a la siguiente ecuación entre componentes renormalizados:

$$\Phi'^{\mu} = \frac{\alpha'}{\alpha''} a_{\nu}^{\mu} \Phi''^{\nu},$$

ecuación que coincide formalmente con la de Palacios (Rel., página 174).

f) *Cuadrado del intervalo*

Según la teoría de Einstein, si x'^{μ} y $x'^{\mu} + dx'^{\mu}$ son dos sucesos cuyas coordenadas naturales (esto es, medidas con patrones universales en reposo en S') difieren infinitamente poco, la expresión

$$ds'^2 = \delta_{\mu\nu} dx'^{\mu} dx'^{\nu} \quad (13.E)$$

es independiente del sistema de referencia inercial S' , con

$$\delta_{\mu\nu} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Si en vez de coordenadas naturales se adoptan coordenadas renormalizadas, el valor ds'^2 se cambia en

$$d\sigma'^2 = \frac{1}{\alpha'^2} ds'^2 = \delta_{\mu\nu} d\xi'^{\mu} d\xi'^{\nu} \quad (14.E)$$

que depende ya de S' . Recíprocamente, el cuadrado del elemento de intervalo, medido con patrones universales, es, según Palacios,

$$ds'^2 = \delta_{\mu\nu} dx'^{\mu} dx'^{\nu}$$

y al cambiar de sistema inercial se transforma de acuerdo con

$$ds'^2 = \frac{\alpha''^2}{\alpha'^2} ds''^2. \quad (13.P)$$

Por consiguiente, ds'^2 depende del sistema inercial en que se mide. Sin embargo, [13.P] pone de manifiesto la existencia de un invariante en el espacio-tiempo de Palacios, a saber, el escalar

$$\alpha'^2 ds'^2 = \alpha'^2 \delta_{\mu\nu} dx'^{\mu} dx'^{\nu}$$

La renormalización [10] conduce entonces al invariante

$$d\sigma^2 = \delta_{\mu\nu} d\xi^{\mu} d\xi^{\nu} \quad (14.P)$$

que coincide formalmente con [13.E].

B) BASES DE LA NUEVA TEORÍA

No es fácil determinar el curso de ideas que llevó a Palacios a su teoría de la relatividad. En todo caso, parecen girar en torno principalmente del concepto de *tiempo*. De ello hay manifestaciones en diferentes trabajos y en su libro *Relatividad, una nueva teoría*. Se presentan a continuación algunos ejemplos (5).

1.º En la cinemática de Einstein, si una regla se mueve en traslación uniforme respecto de un sistema inercial S *cualquiera*, su componente en el sentido del movimiento resulta menor en el factor de Lorentz α cuando se mide *desde* S que cuando se mide *en* un sistema S' en el que se encuentre en reposo. Las longitudes se suponen medidas *todas* con el mismo patrón.

«Es irremediable el preguntar si los acortamientos son reales o aparentes. La respuesta depende de lo que se entienda por real, pero en todo caso debe afirmar que el efecto en cuestión se debe a que, según la teoría de Einstein, la simultaneidad en S no es lo mismo que la simultaneidad en S', por lo que, aunque parezca paradójico, *los acortamientos han de achacarse a los relojes y no a los metros*» (Rel., pág. 38).

En realidad, el acortamiento y su comprobación no exigen el uso de relojes en principio. Tanto en la teoría de Einstein como en la de Palacios, la longitud l de una regla que se mueve con movimiento uniforme a lo largo del eje X del sistema S depende exclusivamen-

(5) Las citas del Prof. Palacios se presentan entre comillas. Los *subrayados* son del autor.

te del cuadrado de su velocidad respecto de S. Por consiguiente, si la regla $A_1 B_1$ y la regla $A_2 B_2$, de igual longitud en reposo, se mueven a lo largo de X con velocidades v y $-v$, la coincidencia de A_1 y A_2 en un punto A de S, y la de B_1 y B_2 en un punto B de S *son sucesos simultáneos* en S y basta medir la distancia AB con una regla en reposo en S para obtener l . La apreciación de dicha simultaneidad no requiere el uso de relojes.

2.º Para un relativista-E, si dos relojes R y R' son idénticos, la marcha de R, en reposo *en* S, y la marcha de R', en reposo *en* S', son iguales, lo que no significa que el período de R' medido *desde* S coincida con el de R. Un relativista-P, en cambio, ve en esto una modificación de la marcha de los relojes:

«Según la teoría de Einstein, cuando un reloj cualquiera es transferido de un sistema S a un sistema S', que se mueve con la velocidad v respecto del primero, *su marcha se modifica automáticamente*, de tal modo, que si el período era T_0 antes del transporte, *el nuevo período* medido desde S vale $T = T_0/\alpha$ » (Rel., pág. 40).

En el modelo einsteniano no hay tal modificación de la marcha del reloj ni, por consiguiente, *nuevo período*: el período de *un* reloj es el mismo *en* cualquier sistema inercial en el que se encuentre en reposo, si bien la medida del período *desde* un sistema inercial respecto del cual el reloj está en movimiento uniforme depende de la velocidad.

3.º Por otra parte, según Palacios, «constituye grave objeción contra la teoría de la relatividad de Einstein el hecho de que sea posible atribuir a cada sistema inercial un tiempo propio característico contado a partir de la Creación, y que dicho tiempo tenga carácter absoluto, pues por ser invariante ha de ser igualmente apreciado por todos los observadores» (Rel., pág. 45).

Pero es claro que para un relativista-E, el que se pueda asociar a cada sistema inercial un tiempo, acaso distinto de un sistema a otro, en nada se opone a que todos los sistemas inerciales sean equivalentes para la descripción de los fenómenos físicos, que es, al fin y al cabo, lo que postula el principio de relatividad. De lo que pudo haber ocurrido antes de ser inerciales nada cabe decir dentro del esquema de la relatividad especial.

4.º La llamada *paradoja de los relojes* ha sido examinada por Palacios repetidamente. Es sabido el importante papel que representó esta paradoja en las discusiones que suscitó la teoría de Eins-

tein en los primeros años. Pero también es sabido que no puede explicarse esta paradoja con sólo los recursos de la teoría especial, la cual considera únicamente las relaciones existentes entre sistemas inerciales. Se podrá afirmar o negar la *aplicabilidad* de la teoría de la relatividad a los fenómenos físicos, pero no cabe negar que explica dicha paradoja a partir de sus propios postulados (6).

Además, hay que señalar que, en su razonamiento para poner de manifiesto dicha paradoja (Rel., págs. 49-50), Palacios aplica ecuaciones que, desde un punto de vista «ortodoxo», sólo son válidas entre sistemas inerciales, mientras que el sistema vinculado al tren deja de serlo al invertirse la marcha. Por otro lado, en la figura 3 (loc. cit.) las líneas de universo de los diferentes puntos del tren ponen de manifiesto que éstos, en un instante de S' , experimentan impulsos que los dejan a todos en reposo respecto de S . Siguen en reposo en S durante intervalos de distinta duración en S , y en un mismo instante de S'' sufren nuevos impulsos que los ponen en movimiento para dejarlos en reposo en S'' . Es claro que los sucesos comprendidos entre las rectas a y b no tienen por qué ser simultáneos. El fenómeno a que se refiere la figura 4 es, en cambio, esencialmente distinto del anterior: un *solo* impulso aplicado a los diferentes puntos del tren, en un mismo instante de S , los reduce al reposo en S'' . Queda por probar que un sólido (el tren) pueda comportarse de alguna de esas maneras.

5.º En cuanto a la dilatación del tiempo, tanto en Rel., página 62 y siguientes, como en un reciente trabajo (7), se advierte una interpretación errónea de las fórmulas relativistas. Desde el punto de vista einsteniano, la solución de Born («Nature», 197, 1248 (1963)) es correcta. No lo es, en cambio, renormalizar primero el patrón de tiempo en *uno* de los sistemas, modificando la marcha de *uno* de los relojes, y aplicar luego las fórmulas

$$t = \frac{t' + \frac{v}{c^2} x'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad t' = \frac{t - \frac{v}{c^2} x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

(6) Véase, por ej., C. MÖLLER, *The Theory of Relativity*, Clarendon Press, 1952, págs. 258-262; o también R. C. TOLMAN, *Relativity, Thermodynamics and Cosmology*, Clarendon Press, 1934.

(7) J. PALACIOS, *The inner inconsistencies of Einstein's theory*, REV. R. ACADEMIA DE CIENCIAS, Madrid, 57, 585 (1963).

(Rel., pág. 62 y loc. cit., pág. 587), sin tener en cuenta que éstas se refieren a medidas con los patrones universales en el esquema de Einstein.

6.º El punto de vista de Palacios frente a la conformación del espacio y del tiempo en un espacio-tiempo se refleja en los siguientes párrafos:

«Las consideraciones anteriores muestran que la teoría de Einstein, en el aspecto cronogeométrico que le dio Minkowski, a pesar de su belleza, es un a modo de lecho de Procusto en el que no cabe la realidad física sino a fuerza de graves mutilaciones. De un mejor conocimiento cabe esperar que surjan diferencias entre entes que parecían iguales, pero de una teoría que confunde cosas claramente distintas, como son el espacio y el tiempo, no puede decirse que dé una mejor idea de la realidad, sino, en todo caso, un aspecto parcial de la misma» (Rel., pág. 82).

«Al espacio de Einstein conviene el adjetivo de metafísico, pues nada tiene que ver con el espacio real, sobre todo si se le añade el tiempo como cuarta dimensión. De este modo se ha creado una cronogeometría en la que, ni cabe la realidad física, ni constituye una teoría lógicamente aceptable. Lo más que puede decirse de ella es que es irreprochable desde el punto de vista matemático» (Rel., página 134).

En realidad, la «fusión» de espacio y tiempo en un espacio-tiempo no es tan íntima como podría parecer por lo que precede. En toda teoría relativista el tiempo representa un papel del todo distinto del que representan las coordenadas espaciales. Cierto es que espacio y tiempo se estructuran en un mismo espacio pseudoeuclídeo, pero este mismo carácter estructural hace del tiempo algo esencialmente irreducible al espacio: la propia métrica garantiza la diferencia esencial entre el conjunto de las coordenadas espaciales y la coordenada temporal de un punto del espacio-tiempo.

Además, si según Palacios, «al intervalo espacio-tiempo, cuya importancia consistía en ser invariante, conviene la frase de Minkowski «se hunde en la sombra», y con él toda la cronogeometrización de la teoría de la relatividad» (Rel., pág. 83), en su propio modelo es invariante el producto $\alpha' d s'$, conforme se vib en A). Un relativista-P explicará esta invariancia diciendo que $\alpha' d s'$ es invariante porque expresa el intervalo elemental $d s$ respecto del sistema

absoluto. Un relativista-E explicará este «hallazgo» por una vuelta a los patrones universales.

Estas consideraciones, y otras íntimamente ligadas con ellas, llevaron a Palacios a rechazar el principio de relatividad y sustituirlo por los postulados a) y b) formulados en A) (cf. Rel., pág. 69) (8).

7.º El experimento de Kantor (9), finalmente, se ha considerado por algunos autores, entre ellos Palacios, como argumento en contra de la teoría de Einstein. Este experimento constituye un buen ejemplo de un hecho insoslayable: la interpretación de lo observado representa un papel decisivo en la construcción de la Ciencia. Kantor observa un corrimiento de las franjas de interferencia y de ello concluye «that the Einstein postulate on light propagation is untenable since according to this postulate no appreciable fringe shift should have been observed in this experiment» (loc. cit., página 984).

Ahora bien, Burčev ha formulado una teoría relativista-E elemental del experimento de Kantor (10), completada en algunos pormenores por Budrikis, en la que, teniendo en cuenta las conocidas relaciones $E = \hbar \nu$, $p = \hbar \nu/c$, se explica el corrimiento observado dentro del marco de la teoría de la relatividad «ortodoxa». Aparte algunos errores de cálculo en las fórmulas que aparecen en su nota (11), la interpretación relativista del experimento de Kantor que ofrece Burčev tiene el mérito de poner de manifiesto que del corrimiento observado no se sigue *necesariamente* la inaplicabilidad del modelo de Einstein. Además, conviene no perder de vista que las condiciones en que se llevó a cabo aquel experimento distaban mucho de ser las óptimas para una determinación cuantitativa, del todo necesaria para decidir si la interpretación de Kantor es o no correcta (cf. Kantor, loc. cit., pág. 284).

(8) A pesar de que en Rel., pág. 69, se diga que «no se requiere ningún nuevo postulado», en la misma obra se «postula que la teoría no puede conducir al absurdo de los relojes». (Rel., pág. 196).

(9) W. KANTOR, *Direct first-order experiment in the propagation of light from a moving source*, «Journ. Opt. Soc. Am.», 52, 978 (1962). Véase también J. PALACIOS, *Óptica de los cuerpos en movimiento. Comentarios al experimento de Kantor*, REV. R. ACAD. CIENCIAS, Madrid, 57, 237 (1963).

(10) P. BURČEV, *On Kantor's experiment*, «Physics Letters», 5, 44 (1963); Z. L. BUDRIKIS, *On Burčev's explanation of Kantor's experiment*, 6, 258 (1963).

(11) Estos errores han sido corregidos por el propio Burčev y no afectan en esencia a los resultados.

Resumiendo: por el momento ningún hecho experimental comprobado apoya la teoría de Palacios que no se pueda explicar con el modelo de Einstein. La circunstancia de que una simple renormalización reduzca aquella teoría a la teoría «ortodoxa», apunta a que se trate de una cuestión de interpretación. No quiere esto decir que no llegue un momento en que haya que abandonar la teoría de la relatividad, pero a ello conducirán, no cuestiones de interpretativa, sino nuevos hechos que no encajen en el modelo.