

DEVENIR Y DETERMINISMO EN LA TEORÍA ESPECIAL DE LA RELATIVIDAD

RAFAEL MARTÍNEZ

This paper aims to analyze the problem of dynamism and determinism in Nature. It has a particular relevance in order to give a vision of reality in which philosophy and sciences have something to say. The study deals this problem in Special Theory of Relativity.

1. Introducción.

Todas las teorías físicas juegan un importante papel en el proceso a través del cuál nuestra experiencia de la realidad llega a conceptualizarse en una específica «imagen» del mundo, necesaria para alcanzar una comprensión teórica de la realidad y para orientarnos en ella también desde un punto de vista práctico. Una reflexión global, filosófica, sobre la naturaleza del mundo físico resultaría imposible sin tomar como base los resultados de la ciencia, y particularmente los de los últimos decenios, a partir de la «revolución científica» del siglo XX. Por otra parte, las diversas crisis epistemológicas que han acompañado esta etapa testimonian la insuficiencia de los métodos propios de la ciencia para alcanzar una completa comprensión de la realidad. Hoy más que nunca nos vemos obligados a intentar una comprensión filosófica global de la naturaleza, a la que debe contribuir igualmente ciencia, epistemología y metafísica¹.

Entre los aspectos de nuestra visión del mundo que más claramente exigen esta interacción entre ciencia y filosofía se halla lo que podemos llamar el «dynamismo» de la naturaleza física, estrechamente relacionado con cuestiones tales como el devenir, la acción causal y la temporalidad². De la imagen del dynamismo físico dependerá en gran parte el significado radical que se atri-

¹ M. Artigas, *La inteligibilidad de la naturaleza*, Eunsa, Pamplona, 1992.

² R. Martínez, *Immagini del dynamismo fisico. Causa e tempo nella storia della scienza*, Armando, Roma, 1996 (cit. *Immagini*).

buya a la realidad material, viéndola como sujeta a un intrínseco devenir en el que progresivamente se desarrolla, o bien como un puro «dato» estático, que se presenta como completo y definitivo.

Se trata en definitiva de la antigua disputa entre las filosofías del ser y las filosofías del devenir³. Las nuevas teorías científicas han intervenido muy directamente en este debate. Después de tres siglos en los que el conocimiento científico se concebía como exacto e indudable, debido en parte al background racionalista en el que se había desarrollado, la ciencia de este siglo ha llevado con frecuencia a sugerir la existencia no sólo de limitaciones propias del proceso cognoscitivo humano, sino de una intrínseca incertidumbre existente en la misma naturaleza.

A esta transformación han contribuido diversas teorías. Ya en la época clásica la termodinámica aparecía como una teoría indeterminista, aunque fuera solo en un plano fenomenológico. A partir de ella, el estudio de sistemas fuera del equilibrio y de fenómenos irreversibles ha llevado en los últimos decenios a una nueva comprensión, en muy diversos ámbitos de la ciencia, de los sistemas complejos, y de la impredecibilidad a ellos conexas. Sin embargo ha sido la mecánica cuántica la que ha ocupado principalmente la atención, a causa del principio de incertidumbre de Heisenberg. Su aplicación tanto teórica como tecnológica, y su fusión con nuevos campos, como cosmología, refuerza la visión dinámica e indeterminista de la realidad.

Diversamente sucede con otra de las más importantes teorías de la física actual, la teoría especial de la relatividad, que suele ser considerada desde este punto de vista como una teoría cercana a la física clásica, que presentaría aún una visión estática y determinista de la realidad.

Se trata de una cuestión importante, ya que la relatividad especial constituye en cualquier caso uno de los pilares sobre los que se asienta nuestro actual conocimiento de la naturaleza (la mecánica cuántica es ciertamente el otro). Admitir una «contradicción» de base entre ambas teorías llevará sin duda a conflictos, como aparece de hecho en el problema de la «no-lo-

³ También en la evolución del pensamiento científico se descubren estas dos corrientes, que representadas según algunos autores por la ciencia de Aristóteles y de Arquímedes. G.J. Whitrow, *The Natural Philosophy of Time*, Clarendon Press, Oxford, 1980.

calidad» de las teorías físicas. Y sin embargo ambas teorías son hoy por hoy insustituibles. Parece necesario por tanto determinar si la teoría de la relatividad resulta realmente determinista, contraria a una imagen dinámica de la realidad física.

2. La cuestión del devenir en la relatividad especial.

Afirmar la no existencia del devenir es desde luego una posición metafísica, y no simplemente física, pues tiene que ver con la aceptación de una específica imagen del mundo, no solo como contenido formal sino como contenido significativo y explicativo acerca de la realidad. Pero está claro que, a consecuencia de la estrecha relación entre ciencia y filosofía, que antes hemos considerado, se tratará de una posición metafísica apoyada muy directamente en datos de tipo físico, y muy en particular en la supuesta estructura determinista de la teoría especial de la relatividad. En efecto, se ha creído posible demostrar el determinismo no como un posición filosófica, sino como un resultado riguroso de la relatividad especial⁴. Éste es el punto que queremos considerar, para mostrar que la relatividad especial no implica una visión determinista de la realidad. La teoría especial de la relatividad, como toda teoría física auténtica, está abierta a una imagen metafísica de la realidad, en la que devenir, acción y causalidad son categorías que nos permiten captar un contenido fundamental de la realidad.

Es un hecho, en cualquier caso, que la relatividad especial lleva consigo algunos elementos que, al menos en un primer momento, parecen inclinar la balanza hacia aquellas teorías que niegan que el devenir sea una característica esencial del mundo físico. El problema deriva, aparentemente, de la imposibilidad que se surge en la teoría especial de la relatividad de que distintos observadores asignen determinaciones temporales unívocas a los eventos físicos. En función de su estado de movimiento, los observadores

⁴ C.W. Rietdijk, "A Rigorous Proof of Determinism Derived from the Special Theory of Relativity", *Philosophy of Science*, 1966 (33), 341-344; "Special Relativity and Determinism", *Philosophy of Science*, 1976 (43), 598-609 (cit. "Special Relativity").

atribuirán a los sucesos valores temporales diversos, e incluso un distinto orden temporal, en ciertos casos. La distinción entre pasado, presente y futuro parece perder su validez absoluta. Parece necesario entonces considerar todos los sucesos como *coexistentes* en un espacio-tiempo o «universo-bloque» que constituiría la única realidad, siguiendo la expresiva afirmación de Hermann Weyl: “El mundo objetivo simplemente *es*, no *sucede*. Sólo para el asomarse de mi conciencia, que se arrastra hacia arriba a lo largo de la línea-universo de mi cuerpo, llega a tomar vida una sección del mundo como una fugaz imagen en el espacio que cambia continuamente en el tiempo”⁵.

Esta imagen estática o espacializada de la relatividad especial surgió ya en 1908, a raíz de la introducción por parte de H. Minkowski de un nuevo formalismo de la teoría de Einstein, que presentaba notables ventajas desde el punto de vista matemático, pero que fue interpretado por el mismo Minkowski en un sentido ultra-realista⁶. La imagen del mundo resultante parecía afirmar un total determinismo: dado un suceso cualquiera siempre será posible hallar un sistema de referencia desde el que aparezca como ya pasado. Por tanto todo suceso se puede considerar como completamente determinado, sin que pueda darse contingencia alguna.

Hoy en día no es frecuente atribuir al universo de Minkowski un sentido ontológico radical, ya que resulta claro que la relatividad especial es sólo una teoría parcial, que corresponde a la abstracción ideal de campos electromagnéticos en sistemas de referencia puramente inerciales, como tal inexistentes en el mundo real, que debe ser completada por otras teorías. La evolución misma de la ciencia y de la epistemología ha llevado en general hacia posiciones menos comprometidas con los aparentes significados ontológicos de las teorías físicas. Pero se sigue afirmando con desenvoltura, con visiones más o menos confusas de la reali-

⁵ H. Weyl, *Philosophy of Mathematics and Natural Science*, Princeton Univ. Press, Princeton, 1949, 116.

⁶ Sustituyendo la variable temporal t por $-ict$, se pueden representar los eventos en un espacio pseudo-euclideo tetradimensional en el que las transformaciones de Lorentz corresponden a simples rotaciones de los ejes de coordenadas. H. Minkowski, “Space and Time”, in *The Principle of Relativity. A Collection of Original Memoirs on the Special and General Theory of Relativity*, trans. W. Perrett, G.B. Jeffrey, Dover, New York, 1923, 75-91.

dad, que la relatividad einsteniana implica un «universo-bloque»⁷. Y la opinión de que la estructura espacio-temporal de la teoría especial de la relatividad implica un determinismo absoluto se halla extendida incluso entre quien no desea aceptar esta consecuencia. Se afirma, por ejemplo, que el «probabilismo», esto es la tesis que sostiene que “el universo es tal que, en cada instante, hay un solo pasado pero muchos futuros posibles alternativos”, resultaría incompatible con una versión realista de la teoría especial de la relatividad, en la que se afirma que todos los sistemas de referencia son “físicamente, ontológicamente equivalentes”⁸.

3. La estructura determinista de la relatividad especial.

Los motivos aducidos para defender la estructura determinista de la relatividad especial se centran principalmente en el examen de las condiciones temporales de los sucesos pertenecientes al exterior al cono-luz del observador. A consecuencia de la invariancia del «intervalo espacio-temporal», los sucesos pertenecientes al interior del cono-luz de un particular evento poseen con éste una relación absoluta: son «absolutamente pasados», si pertenecen al semicono inferior, o «absolutamente futuros», si pertenecen al semicono superior. En el primer caso podremos decir que son sucesos «determinados» o «definidos», mientras que en el segundo caso serán sucesos todavía «contingentes» o «no determinados». Cualquier observador, sean cuales fueren sus condiciones espacio-temporales, les atribuirá necesariamente esta relación.

⁷ Como ejemplo se puede mencionar A.A. Gribb, “Time and Eternity in Modern Relativistic Cosmology”, *Studies in Science and Theology*, 1993 (1), 93. La intervención de Gribb (Friedmann Lab., San Petersburgo) que se recoge resultó ampliamente compartida por muchos de los participantes en esta Conferencia (*Origins, Time and Complexity*, ECST IV, Albano, 1992), y en otra sucesiva sobre (*The Interplay of Scientific and Theological World Views*, ECST VI, Cracovia, 1996).

⁸ N. Maxwell, “Are Probabilism and Special Relativity incompatible?”, *Philosophy of Science*, 1985 (52), 23-24. Se trata de un probabilismo *ontológico*, y no de uno *predictivo* que solamente afirmase que no podemos determinar completamente el futuro, aunque de hecho lo esté.

¿Qué sucede en cambio con los eventos pertenecientes al exterior del cono-luz de un evento concreto? Estos no poseen con él una relación temporal absoluta. ¿Cuál es entonces su estatuto ontológico? ¿Están ontológicamente determinados o indeterminados?⁹ Ninguna de las alternativas posibles resulta convincente. Aceptar que están ontológicamente definidos, si desde ese sistema de referencia resultan ser eventos pasados, llevaría a que tener que afirmar que todos los sucesos, pasados, presentes y futuros están igualmente definidos, ya que todos aparecen como pasados para algún observador. Y la consecuencia sería la eliminación del probabilismo ontológico y del devenir real en la naturaleza.

A una consecuencia de este tipo llega H. Putnam, afirmando que a consecuencia de la relatividad especial todas las cosas, pasadas, presentes y futuras, son “igualmente reales”. Para el “hombre de la calle”, esto es, para el sentido común, “todas las cosas que existen *ahora* (y sólo ellas) son reales”; las futuras, que aún no existen, no lo son, aunque lo serán; y tampoco las pasadas, aunque lo hayan sido¹⁰. Pero si, como impone el principio de relatividad, no existen observadores privilegiados, la relación que me permite asignar «realidad» a las cosas debería ser transitiva. Y como algunas de las «cosas» que para mí son futuras son presentes para otro observador, y por tanto «reales», se llega a la conclusión de que todas lo son. La noción de ser «real» equivale así Putnam a la noción atemporal de existencia. Y como consecuencia cualquier proposición acerca de un acontecimiento futuro tiene ya un valor de verdad definido: se halla perfectamente determinada¹¹.

Afirmar, por otra parte, que los eventos exteriores al cono-luz no están determinados significaría considerar como contingentes también los eventos pasados, dando lugar a una visión de la realidad aún más extraña¹². Y afirmar que tal determinación depende del sistema de referencia escogido, implicaría afirmar que se

⁹ N. Maxwell, 26.

¹⁰ H. Putnam, “Time and Physical Geometry” (1967), in *Mathematics, Matter and Method*, Cambridge University Press, Cambridge,² 1979, 198-205.

¹¹ Refiriéndose a los «futuros contingentes» Putnam llega a afirmar que “Aristóteles se equivocó. Al menos se equivocó si la relatividad tiene razón; y hoy en día tenemos mejores razones para creer en la relatividad que para creer a Aristóteles, al menos en este punto”. H. Putnam, 202.

¹² N. Maxwell, 28.

trata de una cuestión puramente relacional, cuando lo que el probabilismo ontológico busca es precisamente presentarla como una propiedad intrínseca del evento.

a) *Pasado, futuro y determinaciones temporales.*

Para poder juzgar acerca de la validez de esta imagen de la relatividad debemos examinar el contenido de los argumentos presentados. Es cierto que en la teoría de la relatividad dos observadores pueden asignar tiempos distintos a un mismo suceso, por lo que parece posible afirmar que *sucesos que para un observador (llamémosle A) son futuros, son pasados para otro observador (A'), de modo tal que parece poder decirse que tales sucesos se hallan predeterminados, siendo a la vez pasados y futuros. ¿Significa esto que la distinción entre pasado, presente y futuro pierde su objetividad? ¿Se puede afirmar que todos los sucesos se hallan igualmente determinados?*

Afirmaciones similares se hallan no pocas veces en textos relacionados con la relatividad especial, pero es necesario reflexionar sobre cuál sea su significado preciso dentro del formalismo relativista. Es necesario en primer lugar explicitar la relación temporal existente entre las dos afirmaciones hechas. Pues en realidad se quiere afirmar que «sucesos que para un observador A son futuros, son pasados *al mismo tiempo* para otro observador A'». Sin esta condición la frase perdería todo su valor, resultando evidentemente verdadera, pues sucesos («la llegada de Colón a América») que para un observador («Julio César») son futuros, son pasados para otros observadores (nosotros mismos). Pero este es un sentido inofensivo de la frase que no puede en modo alguno demostrar la imposibilidad del devenir, a no ser que previamente se suponga que todos los observadores (del pasado y del futuro) *son* de igual manera.

Para examinar la verosimilitud de esta expresión no debemos por tanto considerar un observador A' que pertenezca al pasado o futuro causal (absoluto) de A —en relación a ellos la frase puede ser siempre obviamente correcta—, sino dos observadores (A y A') que *puedan ser considerados como simultáneos*. En la física

clásica habríamos dicho, simplemente, observadores simultáneos, pero esto no es posible en la teoría de la relatividad, donde la simultaneidad depende del sistema de referencia escogido¹³.

Intentemos examinar esta situación. Los casos posibles son dos: o bien A y A' son *coincidentes* (se hallan –aproximadamente– en un mismo punto del continuo espacio-temporal), con lo que son *absolutamente simultáneos*, o bien se hallan uno en el exterior del cono-luz del otro. En cualquiera de los dos casos será el hecho de poseer distinta velocidad lo que dará lugar a las discrepancias en la determinación del orden temporal de los acontecimientos, mientras que siempre será posible establecer una correlación temporal con observadores en reposo (pertenecientes al mismo sistema inercial).

b) *Observadores coincidentes.*

El primer caso considera dos observadores, A y A', en movimiento relativo, coincidentes en un mismo instante espacio-temporal. Este caso resulta fundamental, ya que A y A' son absolutamente simultáneos. Parecería lógico que al menos en este caso la noción de «real» poseyera, como supone Putnam, un carácter transitivo.

En el momento del encuentro, A y A' asignan a un suceso E tiempos distintos, pudiendo suceder que E sea futuro para A y pasado para A' \supseteq (fig. 1). Hay sin embargo una importante restricción: tal discrepancia puede darse *sólo para aquellos sucesos que están situados fuera del cono-luz de A y A'* (que en este caso coinciden evidentemente). Un suceso F perteneciente al interior del cono-luz negativo, pasado respecto de A, será siempre considerado pasado por A', independientemente de cuál sea la velocidad de su sistema de referencia. La invariancia del intervalo espacio-temporal asegura que ningún suceso que sea pasado *absolutamente* para A pueda ser considerado futuro o presente por A'; ningún observador puede ver alterado el orden temporal de la historia (línea-universo) real o posible de un cuerpo.

¹³ Nótese que estos «observadores» son eventos espacio-temporales, considerados como origen de un sistema de referencia inercial.

DEVENIR Y DETERMINISMO

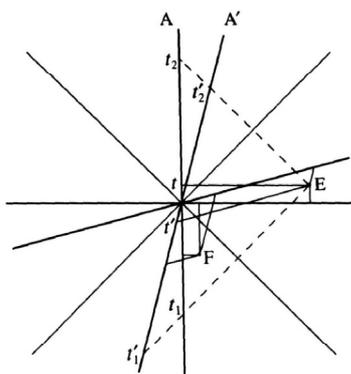


fig. 1

Ahora bien, los sucesos exteriores al cono-luz, para los que resulta posible la alteración del orden temporal, son precisamente aquellos sucesos que no pueden tener una relación física con el suceso considerado como punto de referencia (A y A'). Se puede sacar de aquí una conclusión que invalida el rechazo del devenir temporal en base a la relatividad: ya que el estar incluido en el pasado causal de un observador es una condición necesaria para que un suceso sea perceptible, la supuesta pre-existencia (o pre-determinación) de los sucesos futuros, que sostienen los defensores de la estructura determinista de la relatividad especial es inobservable por principio. En consecuencia, afirma Capek, si tal existencia se postula como observable, se contradicen los resultados objetivos de la teoría de la relatividad. Y si se postula como inobservable se está actuando en contra de "las más elementales reglas de la metodología científica"¹⁴. No se trata de una declaración de positivismo metodológico, sino de reconocer el carácter físico del problema del devenir temporal. Las magnitudes físicas tienen valor sólo si es posible determinar como se determina concretamente su valor¹⁵. Esto no implica adoptar un ingenio

¹⁴ M. Capek, "Inclusion of Becoming in the Physical World", en M. Capek (ed.), *The Concepts of Space and Time. Their Structure and their Development*, Reidel, Dordrecht, 1976, 520.

¹⁵ A. Einstein, "Zur Elektrodynamik bewegter Körper", *Annalen der Physik*, 1905 (17), 892 (reproducido en *The Collected Papers of Albert Einstein*, vol. 2, J. Stachel (ed.), Princeton Univ. Press, Princeton N.J., 1989, 277).

verificacionismo como criterio de significado; supone en cambio reconocer que los conceptos y magnitudes empleados en las teorías físicas deben ser adecuadamente puestos en relación con los datos obtenidos a través de los sentidos y de la medición. Desde un punto de vista realista, la raíz de esta exigencia se halla en el carácter experimental de la ciencia, y el carácter abstractivo de nuestro conocimiento.

Puede verse más claramente considerando el proceso completo de determinación temporal que exige la teoría de la relatividad. Las discrepancias en la determinación del orden temporal surgen sólo al considerar sucesos distantes. Pero es precisamente la asignación de tiempos a sucesos lejanos la que no puede realizarse de modo instantáneo, a consecuencia del carácter limitador de la velocidad de la luz. Se exige un proceso físico en el tiempo: emisión de una señal, reflexión y retorno de la señal. Y por este motivo, todo observador alcanza la determinación de tales tiempos sólo con *posterioridad* al suceso de su experiencia que juzgará como simultáneo (topológica y métricamente) con el suceso distante que trata de medir: precisamente cuando la información llegue a él, lo que se verifica cuando el suceso distante «entre» a formar parte de su pasado causal, penetrando en su cono-luz, por haberse establecido una comunicación real y material (generalmente de tipo visivo) con el observador.

En el ejemplo antes presentado nos encontraremos con que A y A' no pueden determinar la relación temporal que existe entre E y el suceso que habíamos considerado como origen de coordenadas (el momento del encuentro entre A y A') hasta el momento en que reciben un rayo de luz proveniente de E, esto es, hasta t_2 para el caso de A, o t_2' para A'. Pero la relación de orden temporal entre los sucesos adquiere a partir de entonces un carácter absoluto, a consecuencia de la invariancia del intervalo espacio-temporal: es imposible físicamente que ningún sistema de referencia discrepe en sus observaciones con esos resultados.

Cuando los observadores *determinan* efectivamente su relación temporal con sucesos distantes, tal relación resulta siempre absoluta, válida para cualquier observador físicamente posible. Podrá existir una discrepancia métrica. Pero la cuestión no es (como habitualmente se plantea) si lo que para mí *ya ha sucedido* (ahora) *no ha sucedido todavía* para otro observador, pues las

afirmaciones de ambos se refieren a sucesos pasados. Estrictamente, en definitiva, no se puede afirmar que lo que para A *es* pasado, *es* futuro para A'. El verbo «ser», que aquí tiene el sentido de «ser ahora» no es aplicable de este modo a los sucesos distantes: su dominio de aplicación se limita al tiempo presente. Con respecto a los sucesos lejanos sólo podemos decir que lo que A considera que fue anterior a un suceso de su experiencia pasada (su encuentro con A'), A' considera que fue posterior a tal suceso. Este sentido de la expresión mencionada no puede rechazar el concepto de un devenir temporal objetivo, pues no se refiere a las relaciones temporales con el ahora de cada observador, sino a las relaciones entre sucesos pretéritos.

c) *Observadores distantes.*

Debemos considerar en segundo lugar las determinaciones temporales establecidas por dos observadores distantes en movimiento relativo. La situación se hace aquí más compleja, pues ahora un suceso perteneciente al cono-luz del observador A, que posee para él una determinación temporal absoluta, puede sin embargo hallarse fuera del cono-luz del observador A', lo que posibilitaría el que para él tal evento poseyera características temporales diversas.

El argumento ha sido presentado detalladamente¹⁶, considerando dos observadores distantes, A y A', que “sincronizan sus relojes”, y un evento E, situado en el futuro de A (*fig. 2*). Si A' adopta una velocidad adecuada, hallará E en su pasado. En tal caso se podrá afirmar que E se halla *completamente determinado* también para A, puesto que A se considera simultáneo con A'. Esto debería tener como consecuencia que A no podría actuar ya sobre E, con lo que el mundo resultaría regido por un completo determinismo.

¹⁶ C.W. Rietdijk, “A Rigorous Proof”, 341-344.

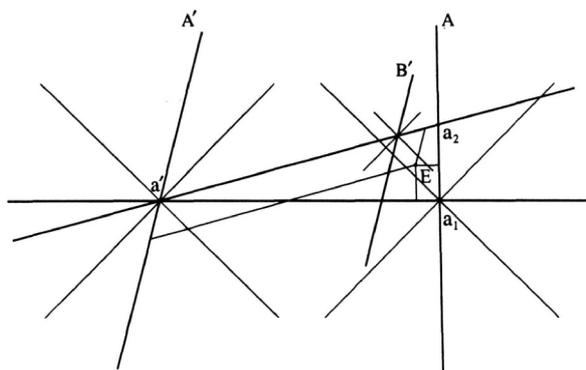


fig. 2

Desde un punto de vista estrictamente físico, este argumento presenta algunos puntos débiles¹⁷. Hay que tener en cuenta que también en este caso el suceso E se halla en el pasado relativo de A', y no en su pasado absoluto¹⁸. No es físicamente posible, en efecto, que un observador A' que *pueda* considerarse contemporáneo con A (y que por tanto se hallará en el exterior del cono-luz de A), vea E como absolutamente pasado. Para eso sería necesario hallarse en el interior del cono-luz futuro de E, pero al ser el intervalo E-A de tipo temporal¹⁹, tal observador (por ejemplo, B') se hallaría también incluido en el cono-luz futuro de A.

Rietdijk piensa sin embargo que esto no modificaría la cuestión²⁰. El "pasado relativo" estaría determinado no menos que el pasado absoluto, ya que también deberíamos considerar determinado el contenido del pasado causal de los observadores pertenecientes a nuestro sistema de referencia inercial, con los que es posible establecer una sincronización coherente y definir un tiempo para todo el espacio-tiempo. Y puede existir un observador B', que pertenezca al sistema inercial de A', y que se halle en

¹⁷ P.T. Landsberg, "Time in Statistical Physics and Special Relativity", en J.T. Fraser / F.C. Haber (eds.), *The Study of Time*, Springer, Berlin, 1972, 59-109; R. Martínez, "Determination and Becoming in the Special Theory of Relativity", *Studies in Science and Theology*, 1994 (2), 96-104.

¹⁸ P.T. Landsberg, 79-81, 97-98.

¹⁹ Esto es, tal que $dx^2 + dy^2 + dz^2 - c^2 dt^2 < 0$

²⁰ C.W. Rietdijk, "Special Relativity", 600.

el futuro absoluto de E, garantizando su determinación efectiva. No parece, sin embargo, que esta respuesta sea suficiente. Aunque se presenta con un lenguaje relativista, esconde una serie de conceptos pre-relativistas. Considerar como criterio de determinación un sistema formado por «todos los observadores» pertenecientes a un sistema de referencia inercial, significa apelar a un «ahora» extendido a todo el espacio. Aunque en relatividad especial resulte posible definir un tiempo válido para todo el espacio en cada sistema de referencia inercial, esto no asegura la coherencia con los demás sistemas de referencia, ni atribuye un significado ontológico a tal sincronización. La razón se halla en que, *incluso dentro de un sistema de referencia inercial*, la definición del «tiempo a distancia» (tiempo calculado para eventos lejanos del observador) exige adoptar una convención arbitraria, derivada del papel que la comunicación juega en la misma definición²¹: no podemos determinar la diferencia relativa entre las velocidades de ida y vuelta de las señales sin poseer antes una definición de tiempo aplicable a la totalidad del espacio, cosa que por otra parte no podemos establecer sin antes conocer tal diferencia relativa. La única solución es pues *definir arbitrariamente como igual* la velocidad de la luz en los dos sentidos²². Esto nos pone en contacto con una concreta limitación de nuestro conocimiento de la naturaleza, que no puede atribuir a la sincronización temporal un valor «ontológico»²³.

4. Determinismo y determinación en la relatividad especial.

¿Qué sentido tienen, en tal caso, las frecuentes referencias a una cierta «pre-determinación» de los eventos? Se hace necesario

²¹ A. Einstein, 39-40.

²² Desde un punto de vista práctico, significa la imposibilidad de medir la velocidad de la luz en un solo sentido. W.C. Salmon, "The Philosophical Significance of the One-way Speed of Light", *Noûs*, 1977 (11), 253-292.

²³ Ni siquiera una cadena continua de observadores alteraría este hecho, como se muestra en los métodos de sincronización mediante transporte lento de relojes, que no permiten eliminar la arbitrariedad relativista en la definición de tiempo. Véase A. Grünbaum, *et al.*, "A Panel Discussion of Simultaneity by Slow Clock Transport in the Special and General Theories of Relativity", *Philosophy of Science*, 1969 (36), 1-81.

afrontar la cuestión central: ¿qué significa afirmar que un evento «está determinado»? En los casos presentados no se quiere afirmar simplemente que un evento *puede ser previsto* por una teoría física determinista, esto es capaz de predecir con exactitud los eventos futuros, conocido el estado inicial del sistema. Lo que se quiere afirmar es una *determinación ontológica*, que permita afirmar que la teoría especial de la relatividad, por su peculiar estructura espacio-temporal, implica necesariamente una visión del mundo físico estática y determinista, en la que no hay lugar para el devenir.

Un suceso ontológicamente determinado será aquél que posee una existencia definida, es decir, un suceso que simplemente «es»²⁴. Pero una afirmación de este tipo resulta demasiado general. Para que posea valor en el estudio del mundo físico, este concepto ha de hacer referencia de algún modo a la efectiva «determinación» de los sucesos por parte de un observador consciente. Debemos decir entonces que un suceso determinado es aquél del cuál es posible afirmar o negar su existencia: un suceso tal que una proposición acerca de él posee un valor de verdad definido.

La posibilidad más inmediata sería la de afirmar, por tanto, que un evento «está determinado» si resulta conocido por algún observador. Este es el uso que se hace, al menos inicialmente, en los ejemplos presentados. Pero se ha de notar que, considerando estrictamente este sentido, *solamente* los sucesos del pasado absoluto de un observador pueden decirse «determinados» para él. No lo están –obviamente– los sucesos de su futuro, pero tampoco los del exterior del cono de luz, aunque el mismo observador pueda considerarlos como presentes o pasados. La asignación temporal que el observador realiza para estos eventos es una «estimación», no propiamente un «observación», puesto que se hallan fuera de su campo de experiencia²⁵.

²⁴ El sujeto de la determinación es un *evento* o *suceso*, no un objeto ni un estado de cosas, y por tanto no admite variaciones ni calificaciones. El evento representa el «darse» de un hecho determinado, y puede representarse como un sistema con dos únicos valores lógicos (V-F).

²⁵ Desde un punto de vista lógico podríamos expresarlo diciendo que la verdad de una proposición acerca del suceso tomado como referencia (observador)

Es evidente sin embargo que si bien un suceso «conocido» es ciertamente un suceso «determinado», la inferencia opuesta no resultaría correcta. Hay sucesos no conocidos que probablemente deberían considerarse determinados, en particular muchos de los que pertenecen al exterior del cono-luz. Podría pensarse entonces en adoptar un significado de «determinación» distinto, en relación a la «imposibilidad de modificar, alterar o prevenir un evento». De hecho, este segundo sentido aparece en algunos de los argumentos considerados, y no siempre claramente diferenciado del primero. Se trata de una situación inversa a la anterior: sólo el futuro absoluto resulta «no-determinado», pues solamente los eventos del futuro absoluto resultan ser «accesibles», esto es, pueden ser todavía modificados. Sin embargo su valor ontológico resulta equivalente: la *frontera* entre los eventos «accesibles» e «inaccesibles» sigue hallándose en el cono-luz, aunque ahora en la superficie que define el futuro absoluto.

En los dos casos la situación problemática hace referencia a los eventos exteriores al cono-luz. En la física clásica, a causa de la existencia de un presente absoluto extendido a todo el espacio, los sucesos quedaban divididos en dos clases disjuntas y complementarias tanto por un criterio como por el otro. Pero en la relatividad esto no es ya posible. Existe una amplia clase de eventos que se hallan, sin más, fuera de nuestro alcance: no es posible actuar sobre ellos, pero tampoco afirmar o negar nada acerca de ellos.

Los dos criterios de «determinación» resultan pues reductivos, ya que no consiguen dar cuenta del estatuto ontológico de los eventos exteriores al cono-luz. No parece razonable afirmar que sólo los eventos conocidos están determinados, pues nada garantiza que un evento llegue a ser conocido por un observador consciente. Basta pensar en eventos producidos en tiempos y lugares remotos, que sin embargo consideramos determinados: *podrían* haber sido conocidos, si un observador adecuado hubiera prestado atención en el momento justo. Y un razonamiento análogo podría hacerse acerca de los eventos «accesibles». Parece en definitiva que hemos presentado solamente una «determinación epistemológica», y no una «determinación ontológica». Es necesario por tanto llegar a una consideración que no considere re-

no permite realizar ninguna inferencia acerca de la verdad de una proposición acerca de sucesos situados en el exterior de su cono-luz

ductivamente como privilegiado el punto de vista del observador. Podemos reconocer que la «determinación» física de un evento exige tomar en consideración la recepción de un influjo físico de tal evento a través de la transmisión de señales materiales de cualquier tipo. Si podemos suponer la existencia de una red «densa» de observadores y señales²⁶, la condición de observabilidad para el determinismo resultará mucho más fuerte: podremos entonces suponer que todo evento resulta «observado» apenas se produce. Podremos entonces decir que un evento se halla determinado si otro evento, tan próximo como se quiera, recibe su influencia. Esta caracterización, que posee un sentido preciso desde el punto de vista físico, concuerda con la noción de «evento ontológicamente determinado». Que un evento se halle determinado significa así que la descripción del mundo físico cuenta con un grado menos de libertad.

De este modo parece posible afrontar la cuestión de la determinación de los eventos lejanos, exteriores al cono-luz del observador. Ahora bien, ¿qué valor posee la determinación a distancia de tales sucesos? Al igual que sucede en la asignación de tiempos a distancia, también la «determinación a distancia», esto es, el poder eliminar un grado de libertad de nuestra descripción del universo, atribuyendo un valor lógico a la hipótesis de verificación de un evento posible, no puede ser realizado inmediatamente a distancia. Es necesario considerar el proceso de comunicación que permitirá a un observador obtener conclusiones acerca de la determinación de eventos lejanos a partir de lo que podemos llamar su «determinación local». Y según el formalismo de la relatividad especial, hallaremos que la «determinación» de los sucesos físicos presenta la misma arbitrariedad, y por tanto la misma no-univocidad, de las nociones temporales, en particular de la noción de simultaneidad. De ahí que no sea posible intentar juzgar unívoca y absolutamente acerca de la actual determinación de eventos lejanos.

Claramente puede verse en el caso físico considerado (*fig. 2*). Resulta fácil mostrar que la supuesta determinación de E por parte de A' no posee valor ontológico. Como ya se vio en el caso

²⁶ La hipótesis de la continuidad material del mundo físico (con un sentido amplio de materia, que incluiría también, por ejemplo, campos electromagnéticos) garantiza la aceptabilidad de tal concepto.

de observadores coincidentes, en el instante considerado A' no posee aún ningún conocimiento acerca del evento E , y no puede eliminar tal grado de libertad en su descripción del mundo. A' recibirá alguna acción física procedente de E sólo en un tiempo posterior. En ese momento será capaz de calcular en qué instante (en su escala temporal) se produjo el evento E . Pero tal determinación no tendrá más valor que el que la relatividad especial atribuye a la noción de simultaneidad: se tratará de una determinación estimada..

La misma arbitrariedad hallaríamos si considerásemos la determinación en el segundo sentido, como inaccesibilidad, pues cada observador estima qué eventos lejanos son «inmodificables» según su estado de movimiento, que le lleva a definir un presente estimado. Pero tal arbitrariedad no lleva al determinismo ontológico. Volviendo al argumento de Rietdijk, es fácil ver que el hecho de que para A' el evento E resulte pasado, no significa que E sea inaccesible para A (fig. 2). En realidad A' juzgará posible una acción física sobre E (*pasado*, en su sistema de referencia) desde otro evento A , que necesariamente juzga como *anterior* a E .

Notemos, en efecto, que ambos observadores *no pueden concordar* acerca de su simultaneidad mutua. Toda la argumentación se basa en el dato inicial²⁷ de que A y A' han sincronizado sus relojes de modo tal que sus relojes coinciden en $t = t' = 0$. Pero tal sincronización, como cualquier otra que se establezca entre dos sistemas de referencia en movimiento relativo, no puede resultar completamente coherente. Dos observadores espacialmente separados y con velocidad relativa elevada, no pueden considerar mutuamente como simultáneos dos eventos determinados de sus historias: mientras que A , experimentando en su historia el suceso a_1 , considera que tal suceso es simultáneo con un suceso a' de la historia de A' , A' considera a' simultáneo a otro suceso a_2 , posterior a a_1 . La situación es completamente equivalente, por otra parte, si se considera desde la perspectiva de A' .

¿Cuál es la raíz de las falacias que se presentan en los argumentos en favor del determinismo? El conflicto surge, en definitiva, cuando escoge el «presente estimado» como criterio para distinguir los sucesos determinados de los que no lo son.

²⁷ C.W. Rietdijk, "Special Relativity", 598.

Pero no hay ningún motivo en la teoría de la relatividad, para hacerlo así. El presente estimado posee un valor relativo al observador, por lo que las relaciones temporales que a partir de él se deduzcan no poseerán ningún valor en otros sistemas de referencia. Hacer uso de tal criterio para diferenciar eventos determinados de eventos indeterminados supone, en definitiva, querer recuperar en la estructura espacio-temporal de la relatividad, el concepto clásico de un presente extendido a todo el espacio, y por tanto reintroducir, ilegítimamente, la noción de simultaneidad absoluta.

Es necesario recordar que, dentro de la relatividad especial, no tiene sentido extrapolar las afirmaciones hechas a nivel local. Dicho de otro modo, la relación de contigüidad espacio-temporal no permite «ampliar» las características de los eventos físicos. Las relaciones temporales, siendo físicas, no resultan transitivas en relación a la contigüidad. Y esto podría llevarnos a conclusiones de tipo ontológico muy distintas de las que la imagen determinista ha propuesto con tanta frecuencia²⁸. Las entidades físicas que componen nuestro mundo resultan en sí independientes en contra de lo que la física clásica suponía. Cada “historia” es única, y su relación con las historias de los demás entes deberá establecerse por medios físicos, mediante una comunicación causal material. La correlación entre el devenir individual de los distintos objetos, que a pequeña escala puede aproximarse mediante el esquema newtoniano, resulta mucho más compleja cuando consideramos grandes escalas espacio-temporales. Y en consecuencia, la imagen del mundo que se desprende, lejos de reducir el universo a un «bloque» estático y determinado, nos presentará los objetos individuales físicos como auténticos sujetos de devenir y de interacción causal. La relatividad especial admite, y en cierto sentido abre el paso a una imagen dinámica del mundo físico, abierta a la comprensión metafísica de la realidad.

Rafael Martínez
Pontificio Ateneo della Santa Croce
Via S. Girolamo della Carità, 64
00186 Roma Italia

²⁸ R. Martínez, *Immagini*, cap. VII.