

## TRES PROBLEMAS EN LA CONCEPCION RELATIVISTA DEL ESPACIO Y EL TIEMPO\*

JORGE BOSCH  
Universidad Nacional  
de la Plata, Argentina

### 1. *Sucesos*

El objeto de esta nota consiste en establecer tres problemas que surgen en la fundamentación epistemológica de la teoría de la Relatividad de Einstein.

Desde el comienzo estuvo claro que la Realidad einsteiniana es el conjunto de todos los sucesos. En su famosa memoria de 1905, Einstein reduce el concepto de “coordenada temporal” al de “simultaneidad de dos sucesos”, y luego, al deducir las ecuaciones que conectan dos sistemas de coordenadas, sigue una línea de pensamiento coherente con la concepción de una Realidad presentada como conjunto de sucesos. Este punto de vista se hace más explícito —por supuesto— con la idea del continuo espacio-temporal debida a Minkowski, pero no cabe duda de que Einstein había asumido aquel punto de vista en el trabajo ya citado. En publicaciones posteriores Einstein establece explícitamente este principio ontológico. Por ejemplo, escribe en “El significado de la Relatividad”:

“Lo que tiene realidad física no es ni el punto del espacio ni el instante de tiempo en el cual algo ocurre, sino el suceso mismo”.

Entonces surge naturalmente la pregunta: ¿Qué es un suceso? Hay esencialmente dos caminos para responderla: los

\* En la preparación de este artículo el autor recibió aporte económico de CITEFA (Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas de las Fuerzas Armadas), y del Laboratorio de Radiaciones de DINFIA (Dirección Nacional de Investigaciones y Fabricaciones Aeronáuticas), Buenos Aires.

llamaré, respectivamente, el *método axiomático-operacional*, y el *método analítico*.

## 2. *El método axiomático-operacional*

Este es, en la práctica, el método adoptado por los físicos, los cuales no lo usan, sin embargo, con la atención que merece.

En efecto, el físico no se preocupa por la cuestión del status ontológico del concepto de suceso. El sabe que es imposible dar definiciones rigurosas para *todos* los términos que entran en una teoría científica, y entonces acepta que se deba partir de una cierta clase de entes básicos no definidos: para la teoría de la Relatividad, estos entes básicos no definidos son los sucesos. En este sentido, la teoría física procede como una rama de la matemática: se establecen ciertas relaciones entre los no definidos sucesos, y luego se derivan consecuencias lógicas de tales relaciones. Este es el método axiomático puro. Pero el problema ontológico se presenta cuando el físico desea confrontar su teoría con la experiencia. En ese momento él no establece explícitamente definición alguna de suceso físico (real), sino que *toma* simplemente ciertos entes a los cuales llama *sucesos*, y confronta su teoría con tales entes. Pero sabemos que este método entraña una suerte de (no confesada) definición, a saber, una definición parcial por extensión: se define un conjunto simplemente confeccionando una lista de los objetos que le pertenecen. He hablado de “una definición parcial” porque, al tomar ciertos “sucesos” para poner a prueba su teoría, el físico no hace una lista *completa* de los sucesos sino una lista parcial, de acuerdo con las necesidades de su problema concreto.

Llegamos así a la siguiente situación: el físico tiene, por una parte, un sistema axiomático que estudia un conjunto “abstracto” llamado *conjunto de sucesos*; y por otra parte, un conjunto de sucesos reales que es definido progresivamente mediante recursos prácticos ad-hoc. Al poner a prueba la ley A, el físico usa la palabra “suceso” para designar

ciertas entidades  $a_1, \dots, a_n$ : Luego, al poner a prueba la ley B, incorpora *nuevos* sucesos reales  $b_1, \dots, b_k$ , etc. Después de esto, si la teoría se aplica bien a todas las entidades que han sido llamadas *sucesos* por los físicos, decimos que esta teoría *explica* todas las experiencias conocidas. Si hay algo llamado *suceso* por los físicos que no verifica la teoría, decimos que esta teoría explica *ciertos* sucesos pero no todos los sucesos conocidos.

Este método parece satisfactorio y en efecto satisface los más bien pobres requisitos de rigor ontológico que los científicos activos en general se imponen a sí mismos. Pero, desde un punto de vista epistemológico, parece que dentro del marco del método que se acaba de esbozar, lo que es real es la teoría matemática, mientras que la Realidad empírica tiene sólo un mero carácter convencional. Este método no resuelve el problema epistemológico de la Realidad, sino que solamente lo ignora. Llegamos así al segundo método.

### 3. *El método analítico y los tres problemas*

El método analítico consiste en tratar de construir una definición o una caracterización del concepto de suceso real (físico) en un modo más bien absoluto, es decir, estableciendo que el suceso es previo a la teoría. Si deseamos considerar el Mundo real como el conjunto de todos los sucesos reales, es natural preguntar por una caracterización de los sucesos independientemente de toda teoría posterior. En apariencia, los sucesos a los que se refiere la Relatividad se describen por expresiones como ésta: “La llegada de la aguja (supuesta única) de un reloj al número-horario 1”. Desde el punto de vista de la Relatividad einsteiniana, es esta llegada la que tiene significado objetivo y existencia real. Pero, en conexión con esto, hay tres problemas epistemológicos que surgen desde el comienzo de la teoría. Los llamaré, respectivamente, el problema de la *precisión*, el problema *semántico* y el problema *atomístico*.

### A) *El problema de la precisión.*

Supongamos que tenemos dos instrumentos de medida X e Y, ambos consistentes esencialmente en un limbo graduado y una aguja móvil. Supongamos también que los instrumentos X e Y se hallen conectados de tal manera que la llegada de cada aguja al respectivo número 1 sean sucesos simultáneos. Desde el punto de vista de Einstein, la simultaneidad de sucesos próximos tiene un sentido intuitivo y directo que no es objetado por la teoría de la Relatividad. Supongamos ahora que repetimos la experiencia pero que llevamos a cabo las observaciones con mayor precisión, de modo tal que concluimos que en realidad la llegada de la X-aguja al X-número 1 no es simultánea con la llegada de la Y-aguja al Y-número 1, sino con la llegada de la Y-aguja al Y-número 1,1. Posteriores mediciones pueden proveer nuevas situaciones, estableciendo sucesivamente que la llegada de la X-aguja al X-número 1 es simultánea con la llegada de la Y-aguja al Y-número 1,11, o al Y-número 1,111, etc. Esta situación fluida muestra que en efecto no sabemos a qué estamos llamando *llegada de la X-aguja al X-número 1*, puesto que en el primer caso *creemos* que este suceso es simultáneo con cierto Y-suceso, y luego *creemos* que es simultáneo con otro Y-suceso. Estrictamente hablando, desde un punto de vista *operacional* llevamos a cabo distintas operaciones en los distintos casos, por lo cual parece que el mencionado X-suceso depende de las operaciones llevadas a cabo para realizar su observación. Por este camino, el verdadero X-suceso en sí aparece como una entidad postulada metafísicamente. No existe un método operacional que sea a priori absoluto, es decir, un método que permita establecer cuál es el Y-suceso *realmente* simultáneo con el X-suceso dado, ya que todo método es perfectible en el sentido de su precisión.

En la práctica la situación es como sigue: cuando creemos que la llegada de la X-aguja al X-número 1 es simultánea con la llegada de la Y-aguja al Y-número 1, construimos

una cierta teoría física que llamaremos  $T_1$ . Cuando creemos (o aceptamos) que el mencionado X-suceso es simultáneo con la llegada de la Y-aguja al Y-número 1,1, construimos otra teoría física  $T_2$ . De esta manera obtenemos una sucesión de diferentes teorías  $T_1, T_2, T_3$ , etc. Esta situación es generalmente aceptada en física, pero no es aceptable si establecemos el concepto de suceso como base primaria y objetiva de la Realidad. No es aceptable que la *naturaleza* de los constituyentes últimos y objetivos de la Realidad pueda depender del método de observación. En todo caso, sería mejor considerar que las sucesivas observaciones operacionales son las que tienen significado objetivo, y desterrar al suceso en sí mismo.

Si esta conclusión parece contradecir la conducta usual de los científicos, ello es debido a que en la tarea ordinaria de los físicos (así como en la vida cotidiana) nunca se considera que los sucesos sean los constituyentes últimos de la Realidad, sino que este status es asignado a los *objetos*. Así, en la física ordinaria se considera que la X-aguja y el X-número 1 tienen significado objetivo, y que la llegada de la primera al segundo es una relación entre ellos. Desde este punto de vista la objeción desaparece, porque no es una contradicción aceptar que conocemos perfectamente los dos objetos pero que no conocemos exactamente las relaciones entre ellos; en particular, se hace aceptable dar un significado *relativo* a la llegada de la X-aguja al X-número 1. Por este camino, los objetos son absolutos y los sucesos son relativos, pero en la teoría de la Relatividad se da la situación opuesta: los sucesos son absolutos y los objetos son relativos. Luego, dentro del marco de esta teoría, no es aceptable confesar que un suceso no sea exactamente definible.

#### B) *El problema semántico.*

En esta teoría hay un problema similar al de los hechos elementales o atómicos que aparece en ciertas epistemologías semánticas como la de Wittgenstein, la de Carnap o la de

Russell. Se trata también de un problema cercano al de los sucesos en la teoría de la Probabilidad aplicada. El problema es el siguiente: llamemos  $X_1$  al suceso consistente en la llegada de la X-aguja al X-número 1, e  $Y_1$  al suceso análogo para el instrumento Y. Si el Mundo se define como el conjunto de todos los sucesos, aceptamos que  $X_1$  e  $Y_1$  pertenecen al Mundo. Pero, ¿pertenece al Mundo el par  $[X_1, Y_1]$ ? Desde un punto de vista intuitivo, la simultaneidad de esas dos llegadas constituye también un suceso; ¿es éste un suceso físico (objetivo)? Parece que la respuesta de la teoría de la Relatividad a ambas preguntas es No. Porque estos supuestos sucesos son descomponibles en varios sucesos elementales: en el último ejemplo, tales sucesos elementales serían las llegadas de diversos electrones a tal o cual pieza de un circuito. Es bien sabido que dar una definición satisfactoria de sucesos elementales o atómicos es un arduo problema, y la solución de este problema parece ser de fundamental importancia para la epistemología de la Relatividad, porque en esta teoría el Mundo es precisamente el conjunto de tales sucesos. Otro ejemplo de la misma clase es el siguiente: si aceptamos que la llegada de la X-aguja al X-número 1 es un suceso, ¿debemos aceptar que la llegada de la X-aguja a un X-número impar sea también un suceso? En la teoría de la Probabilidad estas dos descripciones corresponden a sucesos *diferentes*: el segundo es una *clase* de sucesos similares al primero. Esto también conduce a la necesidad de un nítido concepto de suceso elemental; la física moderna no ha clarificado aún el concepto general de partícula elemental, y por tanto hay pocas esperanzas de encontrar una definición satisfactoria, a la vez objetiva y absoluta, de suceso elemental.

Aquí encontramos una forma del clásico problema de los universales, a saber: ¿poseen los conjuntos realidad objetiva? Si la respuesta es afirmativa, entonces los conjuntos deben ser tomados como puntos del continuo espacio-temporal, es decir, como elementos del Mundo. Si la respuesta

es negativa, entonces los conjuntos deben ser desterrados del Mundo físico.

C) *El problema atomístico.*

Hemos visto que la definición del Mundo como conjunto de todos los sucesos conduce directamente al problema de definir sucesos atómicos. En este orden de ideas surge una nueva dificultad: si aceptamos que hay una cosa tal como la llegada de la X-aguja al X-número 1, debemos preguntarnos por el status ontológico de ambos objetos. Si solamente los sucesos tienen existencia objetiva, entonces lo que hemos llamado X-aguja debe ser concebido como una colección de sucesos; ésta es, en efecto, la idea que permite dar una interpretación correcta de la contracción de Lorentz-Einstein. Luego, los macro-sucesos tales como la llegada de la X-aguja al X-número 1 deben ser reemplazados por colecciones de micro-sucesos tales como colisiones de electrones, etc. Pero las colisiones entre electrones no son observables en sí mismas y tienen un carácter más bien teórico. Llegamos así a la conclusión de que los constituyentes objetivos del Mundo (es decir, los sucesos) tienen carácter teórico y no poseen en modo alguno objetividad en el sentido usual.

## THREE PROBLEMS IN THE RELATIVISTIC CONCEPTION OF SPACE AND TIME\*

JORGE BOSCH  
Universidad Nacional  
de la Plata. Argentina

### 1. *Events*

The purpose of this note is to set up three problems that arise in the epistemological foundation of Einstein's theory of Relativity.

From the very beginning, it was clear that Einstein's Reality is the set of all events. In his famous paper of 1905, Einstein reduces the concept of "time coordinate" to that of "simultaneity of two events", and then, in deriving the equations connecting two coordinate systems, he follows a line of thought coherent with the conception of Reality as a set of events. This point of view became more explicit —of course— with Minkowski's idea of a space-time continuum, but it is doubtless that it was clearly assumed in the previous Einstein's paper. In later works Einstein establishes explicitly this ontological principle. For example, he writes in "The meaning of Relativity":

"What has physical reality is neither the point in space nor the instant in time in which something occurs, but the event itself."

Now, the question arises naturally: What is an event? There are essentially two ways to give an answer: I shall call them, respectively, the *axiomatic-operational method* and the *analytical method*.

### 2. *The axiomatic-operational method*

This is, in practice, the method adopted by working physicists, without treating it, nevertheless, with the attention it deserves.

In fact, the physicist does not disturb himself with the question of the ontological status of the concept of event. He knows that it

\* In preparing this paper the autor was partially supported by CITEFA (Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas de las Fuerzas Armadas) and the Radiation Laboratory of DINFIA (Dirección Nacional de Investigaciones y Fabricaciones Aeronáuticas).

Dada la brevedad del artículo del señor Jorge Bosch, publicamos una traducción completa al inglés, en lugar del resumen acostumbrado (*El Comité de Dirección*).



is impossible to give rigorous definitions for *all* the terms entering in a scientific theory, so he accepts that he must start from some kind of undefined basic entities: for the theory of Relativity, these undefined basic entities are the events. In this sense, physical theory proceeds as a branch of mathematics: one establishes certain relations between the undefined events, and then derives some logical consequences of such relations. This is the pure axiomatic method. But the ontological problem presents itself when the physicist wishes to confront his theory with experience. At this moment he doesn't establish explicitly any *definition* of physical (real) event, but he simply *takes* certain entities which he calls *events* and confronts his theory with such entities. But we know that this method entails a sort of (unconfessed) definition, i.e., a partial definition by extension: one defines a set simply by listing the objects belonging to it. I said "a *partial* definition" because, in taking certain "events" to check up his theory, the physicist doesn't make a *complete* list of events but a partial one, according with the needs of his concrete problem.

We arrive thus at the following situation: the physicist has, on the one hand, an axiomatic system which studies an "abstract" set called *set of events*; and on the other hand, a set of real events which is defined progressively and by ad-hoc practical devices. In testing the law A, the physicist uses the word "event" to designate certain entities  $a_1, \dots, a_n$ . Then, in testing the law B, he incorporates the *new* real events  $b_1, \dots, b_k$ , and so on. After this, if the theory holds good for every entity that has been called *event* by physicists, we say that this theory *explains* all known experiences. If there is a thing called *event* by physicists that doesn't verify the theory, we say that this theory explains *certain* events but not all known events.

This method looks satisfactory and in fact it satisfies the rather poor standard of ontological rigor imposed to themselves by working scientists in general. But, from an epistemological standpoint, it seems that within the frame of the method just outlined, what is real is the mathematical theory, while empirical Reality has only a crude conventional status. This method does not solve the epistemological problem of Reality, but only ignores it. We are thus led to the second method.

### 3. *The analytical method and the three problems.*

The analytical method consists in trying to construct a definition or a characterization of the concept of real (physical) event in a rather absolute way, i.e., a way that establishes the event as previous to the theory. If we wish to regard the real World as the

set of all real events it is natural to ask for a characterization of events independently of any further theory. In appearance, the events referred to in Relativity are described by expressions like this: "The arrival of the hand (supposed unique) of a clock to the clock-number 1." From the point of view of Einsteinian Relativity, it is this arrival what has objective meaning and real existence. But in this connection there are three epistemological problems that arise from the beginning of the theory. I shall call them the *accuracy*, the *semantical* and the *atomistic* problems.

A) *The accuracy problem.*

Suppose that we have two measuring instruments X and Y, each consisting essentially in a graded dial and a moving hand. Suppose also that instruments X and Y are so connected that the arrival of each hand to the respective number 1 are simultaneous events. From Einstein's point of view, simultaneity of neighboring events has a intuitive and direct sense which is not objected by the theory of Relativity. Suppose now that we repeat the experience but we perform the observations with more accuracy, so we conclude that in fact the arrival of the X-hand to the X-number 1 is not simultaneous with the arrival of the Y-hand to the Y-number 1, but with the arrival of the Y-hand to the Y-number 1,1. Further measurements may provide new situations, establishing successively that the arrival of the X-hand to the X-number 1 is simultaneous with the arrival of the Y-hand to the Y-number 1,11, or to the Y-number 1,111 and so on. This fluid situation shows that in fact we do not know what we call *the arrival of the X-hand to the X-number 1*, because in the first case we *believe* that this *event* is simultaneous with a certain Y-event, and then we *believe* that it is simultaneous with another Y-event. Strictly speaking, from an *operational* point of view we perform different operations in each case, so it seems that the above mentioned X-event depends on the operations performed to realize its observation. In this way, the true X-event in itself appears as a metaphysically postulated entity. There is not an a priori absolute operational method permitting to establish the Y-event *really* simultaneous with the given X-event, each method being perfectible in the sense of its accuracy.

In practice the situation is as follows: when we believe that the arrival of the X-hand to the X-number 1 is simultaneous with the arrival of the Y-hand to the Y-number 1, we construct a certain physical theory which will be called  $T_1$ . When we believe (or accept) that the above mentioned X-event is simultaneous with the arrival of the Y-hand to the Y-number 1,1, we construct another physical theory  $T_2$ . In this manner we have a sequence of different

theories  $T_1, T_2, T_3 \dots$  etc. This situation is generally accepted in physics, but it is not acceptable if we establish the concept of event as the primary and objective basis of Reality. It is not acceptable that the *nature* of the ultimate and objective constituents of Reality may depend on the method of observation. In any case, it would be better to consider the successive operational observations as having objective meaning, and to banish the event itself.

If this conclusion seems to contradict the usual behavior of scientists, it is due to the fact that in ordinary working physics (as in ordinary common sense) we never consider events as ultimate constituents of Reality, but we assign this status to *objects*. Thus, in ordinary physics we say that the X-hand and the X-number 1 have objective meaning, and that the arrival of the first to the second is a relation between them. From this point of view the objection disappears, because it is not a contradiction to accept that we know perfectly the two objects but we do not know exactly the relations between them; in particular, it becomes acceptable to give a *relative* meaning to the arrival of the X-hand to the X-number 1. In this way, objects are absolute and events are relative, but in the theory of Relativity the situation is exactly the opposite one: events are absolute and objects are relative. Then, it is not acceptable, within the frame of Relativity theory, to confess that an event is not exactly definable.

#### B) *The semantical problem.*

In this theory there is a problem similar to that of elementary or atomistic facts which arises in certain semantical epistemologies such as Wittgenstein's, Carnap's and Russell's. It is also near to the problem of events in applied Probability theory. The problem is this: let us call  $X_1$  the event consisting in the arrival of the X-hand to the X-number 1, and  $Y_1$  the analogous event for instrument Y. If the World is defined as the set of all events, we accept that  $X_1$  and  $Y_1$  belong to the World. But, does the pair  $[X_1, Y_1]$  belong to the World? From an intuitive standpoint, the simultaneity of those arrivals constitute also an event; is it a physical (or objective) event? From the intuitive standpoint the arrival of a set of electrons to a certain piece of a circuit is an event; is it a physical (or objective) event? It seems that the answer of Relativity theory to both questions is No. Because these supposed events are in fact decomposable in several elementary events: in the last example, such elementary events would be the arrivals of each electron to that piece of a circuit. It is well known that a satisfactory definition of elementary or atomistic event is a hard problem, and the solution of this problem seems to be of funda-

mental importance for the epistemology of Relativity, because in this theory the World is just the set of such events. Another example of the same kind is the following: if we accept that the arrival of the X-hand to the X-number 1 is an event, must we accept that the arrival of the X-hand to an odd X-number is an event? In Probability theory these two descriptions correspond to *different* events: the second is a *class* of events similar to the first. This leads also to the necessity of a sharp concept of elementary event; modern physics has not yet clarified the general concept of elementary particle, thus it is hopeless to find a satisfactory, objective and absolute definition of elementary event.

Here we encounter one form of the classical problem of universals, namely the following: do sets possess objective reality? If the answer is *yes*, then sets are to be taken as points of the space-time-continuum, i.e., as elements of the World. If the answer is *no*, then sets are to be banished from the physical World.

### C) *The atomistic problem.*

We have seen that the definition of the World as the set of all events leads directly to the problem of defining atomic events. In this connection a new difficulty arises: if we accept that there is a thing such as the arrival of the X-hand to the X-number 1, we must ask for the ontological status of both the X-hand and the X-number 1. If only events have objective existence, then the so-called X-hand must be conceived as a collection of events, this is, in fact, the idea which permits a correct interpretation of the Lorentz-Einstein contraction. Then, the macro-events such as the arrival of the X-hand to the X-number 1 must be replaced by collections of micro-events such as collisions of electrons, etc. But collisions of electrons are not observable in themselves and have a rather theoretical character. We arrive thus to the conclusion that the objective constituents of the World (i.e., the events) have a theoretical character and have not at all objectivity in the usual sense.