

Consecuencias filosóficas de la teoría de la Teoría de la Relatividad

Julián Salas Camarero

«Quiero saber cómo creo Dios este mundo. No estoy interesado en este o en ese fenómeno, en el espectro de este o ese elemento. Lo que quiero es conocer Sus pensamientos; el resto son detalles»

Albert Einstein



Introducción

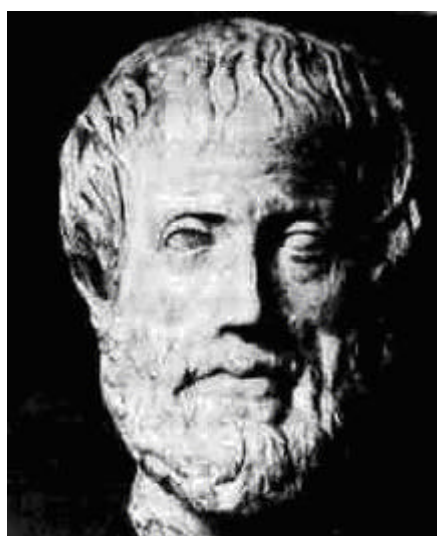
Albert Einstein es el científico más popular que ha existido. Raro es quien no ha oído hablar de él aunque desconozcan su labor científica. Las personas que por profesión o por afición, como es nuestro caso, sí que conocemos algo de su obra, somos conscientes de la gran repercusión que para la física tuvieron sus aportaciones. Cómo olvidar lo que supuso para la *mecánica estadística* su explicación del movimiento browniano (la primera prueba directa de la existencia de las moléculas), o para la *mecánica cuántica* su estudio del efecto fotoeléctrico (demostró la naturaleza dual de la luz: su comportamiento unas veces como onda y otras como partícula).

Mención aparte merece su teoría de la *relatividad* (especial y general) creada y desarrollada por él. Es de esta teoría de la que se va a hablar en este ensayo, y se va a hacer desde el punto de vista del cambio que supuso para nuestra visión del mundo. Porque si la Teoría de la Relatividad (TR) fue una revolución para la física, no lo fue menos para la filosofía.

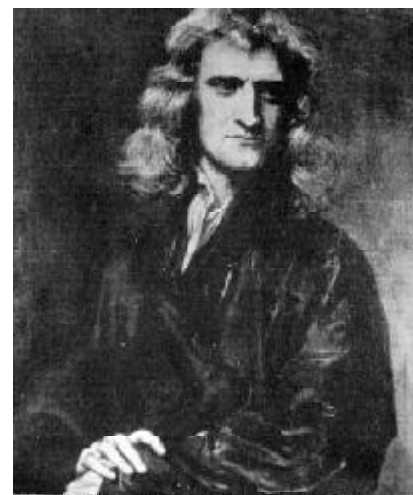
Preliminares

El espacio, el tiempo, la materia y la energía son motivo de reflexión filosófica por ser los constituyentes del Universo, el Cosmos, la Naturaleza o la Realidad, como queramos llamarlo. Y es el estudio de esta Naturaleza la razón de ser de la ciencia y de la filosofía, aunque su forma de hacerlo difiera en los métodos.

Visión aristotélica y newtoniana del universo Aristóteles



Aristoteles



Isaac Newton

La idea del universo que dominó el pensamiento occidental desde sus orígenes hasta mediados del siglo XIX, se establece bajo la consideración de cuatro **c o n c e p t o s** primarios: el espacio, el tiempo, la materia y los fenómenos. Estas cuatro entidades, diferenciadas netamente, tienen, presupuestamente al menos, su correlativo en el universo. En esta visión, heredada de la Grecia Clásica y cuyo máximo exponente fue Aristóteles, cada cuerpo posee una propiedad primordial llamada materia. Esos cuerpos

materiales están en un lugar del espacio y entre ellos tienen lugar acontecimientos en un instante determinado y con una determinada duración. Tenemos así tres realidades independientes: la materia, el espacio y el tiempo.

Es en el espacio y en el tiempo, especie de receptáculos que no son materiales, donde se producen fenómenos entre los cuerpos materiales. Como existen los cuerpos materiales, se producen fenómenos entre ellos (el móvil es antes que el movimiento).

Isaac Newton, fundador de la mecánica clásica en el siglo XVII, matematizó las ideas de Aristóteles admitiendo la existencia de un espacio absoluto, al que atribuía implícitamente las propiedades geométricas que el griego Euclides había deducido de axiomas fundamentales «intuitivos». Newton suponía que un «tiempo universal», medible sin ambigüedad, caracteriza a todos los acontecimientos que es posible estudiar. Este espacio absoluto, dotado de referencias sólidas e inalterables, determina así el marco en el que evolucionan los cuerpos materiales en el transcurso de un tiempo que se encuentra también perfectamente definido.

La visión del universo que nos legaron Aristóteles y Newton se puede resumir de la siguiente manera.

| Aristóteles | Newton |
|-------------|--|
| Espacio | Referencial fundamental (Medida de una longitud) |
| Tiempo | Referencial fundamental (Medida de una duración) |
| Materia | Referencial fundamental (Cantidad de masa) |

En esta visión cosmológica aristotélica-newtoniana primero existen los cuerpos (caracterizados físicamente por su masa). Estos cuerpos materiales están en el espacio, que es exterior a ellos y con el que nada tienen que ver. A esos cuerpos que están en el espacio les ocurren fenómenos a lo largo del tiempo, tiempo que es ajeno al fenómeno y al lugar dónde se produce. Espacio, Tiempo y Materia, así como los fenómenos que en ellos ocurren, son categorías diferentes de la naturaleza.

Al Espacio no le afecta la presencia o ausencia de materia, ni que transcurra o no el tiempo, o que a la materia que en el esté le ocurran o no sucesos. Lo mismo puede decirse para el Tiempo, que transcurre de igual manera exista o no materia, haya o no espacio. Si a esto añadimos que para que ocurra algo ha de existir primero el cuerpo y que a ese cuerpo puede entonces sucederle algo (la materia es primordial, el fenómeno consecuencial), tenemos un resumen de la visión filosófica del mundo hasta principios del siglo XX.

La Teoría Especial de la Relatividad (TER)

Einstein publicó en 1905, en la revista *Annalen der Physik*, tres trabajos (cuatro artículos) de gran importancia para el mundo de la física y de la filosofía. Los tres estaban cortados por el mismo patrón: Einstein proponía sencillas hipótesis de trabajo y sacaba de ellas todas las conclusiones lógicas. Para él una teoría era tanto más impresionante cuanto mayor fuese la simplicidad de sus premisas, cuanto más diversas cosas conectase y cuanto más amplio fuese su ámbito de aplicación.



Einstein en 1905.

En la Teoría Especial de la Relatividad, que en la publicación original de Einstein llevaba por título *Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento*, Einstein quería encontrar unas leyes generales tanto para la mecánica como para el electromagnetismo.

A esta teoría llegó tras diez años de reflexión, desde que a los 16 años se topó con la siguiente paradoja: si corro detrás de un rayo de luz a la velocidad de la luz, debería contemplar el rayo de luz como estacionario, aunque oscilante. Eso es algo que

ni la experiencia, ni las leyes del electromagnetismo de Maxwell lo permiten. Entonces Einstein supuso que juzgada la situación por semejante observador, todo debería desarrollarse según las mismas leyes que para un observador que se hallara en reposo con respecto a la tierra. En otras palabras: ¿cómo veríamos el mundo si viajásemos subidos en un rayo de luz? De la misma manera que si estuviésemos parados. Porque ¿cómo podría saber quien viaja en el rayo de luz que se encuentra en un estado de rápido movimiento? Esta paradoja es el germen de la TER. Resolverla supuso eliminar el axioma del tiempo absoluto y el de la simultaneidad.

Los postulados a partir de los que Einstein desarrolló esta teoría son:

1.- Postulado de relatividad.

En el universo no hay tiempo absoluto ni espacio absoluto. Y como en la naturaleza no hay nada absoluto, las leyes de la Física han de ser las mismas en todos los sistemas de referencia inerciales (*Principio de Relatividad* o principio de

covarianza). Dos observadores que se mueven a velocidad constante, uno respecto de otro, observarán idénticas leyes de la naturaleza. Esto quiere decir que si alguien observa un fenómeno de la naturaleza en tierra firme, observará lo mismo que si lo hace en otro lugar que se está moviendo a velocidad uniforme. Dicho en palabras más simples: uno puede jugar al ping-pong igual de bien en tierra firme que si va montado en un tren que se mueve a velocidad uniforme.

2.- **Postulado de la luz.** De todas las propiedades que posee la luz (velocidad, energía, frecuencia,...), Einstein elige una: la velocidad de propagación en el vacío y la eleva a la categoría de postulado diciendo que la velocidad de la luz en el vacío es constante y límite de todo lo que sucede en el universo (*Principio de invariabilidad de la velocidad de la luz*). La velocidad relativa de un rayo de luz respecto de cualquier observador es siempre la misma e independientemente del estado de movimiento del foco emisor o del observador. Aunque dos observadores se muevan a una velocidad de 160.000 Km/s uno respecto del otro, si ambos miden la velocidad de un mismo rayo de luz, los dos determinarán que se desplaza a 300.000 Km/s. Algo absurdo para la mecánica de Newton, en la cual la velocidad de un cuerpo aumenta sin límite si lo hace la fuerza aplicada sobre él. Einstein propone que la velocidad de la luz en el vacío es un invariante, su valor no cambia si la fuente que la emite se mueve con respecto al observador y es límite de velocidad para cualquier cuerpo.

Es importante observar que los dos postulados de Einstein se refieren al movimiento, no al móvil. En la TER todo el cosmos queda condicionado por la velocidad de la luz y

las leyes tienen que poder representarse independientemente del sistema de referencia. No dicen nada a cerca de los cuerpos sino que postulan a cerca de los fenómenos. Einstein ha invertido la prioridad en la polémica de qué es antes: el móvil o el movimiento. Si en la discusión clásica había «vencido» la idea de que antes del movimiento debía de existir el móvil, para Einstein el movimiento es anterior al móvil y por eso lo importante son las propiedades de ese movimiento.

Los dos supuestos en que se basa la TER son mutuamente incompatibles, pese a que ambos vienen apoyados por la experiencia. La manera de hacerlos compatibles fue postular relaciones de un nuevo tipo (transformaciones de Lorentz) para la conversión de coordenadas y tiempos de los sucesos. Para ello la TER crea una dependencia entre las coordenadas espaciales y las coordenadas temporales. Vivimos en un continuo espacio-temporal.

De esos dos postulados, para que las leyes físicas se cumplan en todos los sistemas de referencia inerciales y para que la velocidad de la luz sea constante para cualquier observador, se deduce que un reloj transportado a gran velocidad funciona más lentamente que un reloj idéntico que permanece en un lugar inmóvil. También se

deduce que la longitud de los objetos y su masa varían respecto a la de esos mismos objetos cuando permanecen inmóviles. Lo que Einstein encontró es que cada observador tiene su manera de medir el espacio y el tiempo, que varía de uno a otro según su velocidad relativa. Eso implica que dos fenómenos que para un observador ocurren en el mismo instante, no son simultáneos para un observador que se mueve respecto a

éste. Tenemos que modificar por tanto la idea de **simultaneidad**. A este sorprendente hallazgo de la TER hay que unir el de que **materia y energía son equivalentes**, algo

que se deduce del principio de relatividad y que está en contra de todo sentido común. No es fácil admitir que la silla sobre la que nos sentamos se pueda convertir en energía, en radiación electromagnética como lo es la luz que nos ilumina. Pero no sólo la silla, cualquier objeto material, incluido nuestro propio cuerpo, se puede convertir en energía. Que la conversión de masa en energía es un hecho está fuera de toda duda desde las bombas atómicas de Hiroshima y Nagasaki; y el proceso contrario ocurre a cada instante en la atmósfera de la Tierra, al convertirse radiación gamma en partículas, y también cada día en los aceleradores de partículas donde los físicos estudian estos fenómenos. Esta conversión de masa y energía se produce de acuerdo a la famosa fórmula descubierta por Einstein $E=m*c^2$

Implicaciones

A partir de la TER las nociones de tiempo, espacio, materia y energía deben ser radicalmente modificadas. No podemos hablar del espacio como si fuese algo independiente del tiempo, ni del tiempo como si fuese algo independiente del espacio. Los fenómenos de la naturaleza se producen en el espacio-tiempo, una entidad nueva. Ya no podemos hablar de dónde está un cuerpo ni de cuándo ocurrió un fenómeno, sino que a partir de ahora todo es un cuándo-dónde. Y por otro lado, lo que para la filosofía era materia y sólo materia, deja de ser cierto ya que de la TER se deduce que la materia se puede desmaterializar para conver-

tirse en energía y viceversa. La masa, que según Newton, es algo intrínseco al cuerpo independientemente de dónde esté y de cómo se mueva, para la TER no es cierto que la masa sea una propiedad intrínseca del cuerpo sino que depende de su estado de movimiento, de la velocidad que lleve el cuerpo.

| Antes de la TER | Después de la TER |
|-----------------|-------------------|
| Espacio | Espacio-Tiempo |
| Tiempo | |
| Materia | Materia-Energía |
| Energía | |

La Teoría General de la Relatividad (TGR)

Einstein se propuso generalizar el primer postulado de la relatividad especial. Recordemos: iguales leyes de la física para dos sistemas de referencia inerciales. Lo que quena ahora era descubrir unas ecuaciones que se pudiesen aplicar a cualquier sistema, esté en reposo, en movimiento uniforme o en movimiento acelerado. Quiere así explicar las interacciones gravitatorias observadas en el universo.



Einstein en 1912

En 1911 Einstein señaló que no puede distinguirse la presencia de un campo gravitatorio del movimiento acelerado del propio laboratorio (**principio de equivalencia**). Este principio afirma que las fuerzas producidas por la gravedad son totalmente equivalentes a las fuerzas producidas por la aceleración. Por lo que

no se puede distinguir, mediante un experimento, entre fuerza de gravitación y una aceleración. La TER implica que una persona situada en un vehículo

cerrado no puede

determinar mediante ningún experimento imaginable si está en reposo o en movimiento. La TGR implica que si el vehículo resulta acelerado o frenado el ocupante no puede afirmar si las fuerzas producidas se deben a la gravedad o son fuerzas de aceleración. Que esto sea así tiene consecuencias sobre la trayectoria de un rayo de luz. Un rayo de luz que viaja desde la pared de un cohete hasta la otra, sigue un a trayectoria curva si el cohete se acelera. Como aceleración y gravedad son equivalentes, un rayo de luz se curvará al pasar cerca de un campo gravitatorio. Consecuencias que hace públicas en 1916 en una de las reuniones de la Academia Prusiana de Ciencias. Si ya era sorprendente lo que se deducía de la TER, lo que se deduce la TGR lo es tanto o más. Con esta teoría lo que Einstein hace es una descripción geométrica de la gravitación. En un espacio en el que se hallan presentes masas se ejerce una fuerza de gravitación y la geometría euclidiana deja de tener validez. Lo que Newton llama fuerzas es para Einstein deformación del espacio-tiempo (geometría). Newton funciona bien en un espacio absoluto y vacío, la TGR en un mundo con objetos materiales. En

esta nueva visión no sólo el tiempo y el espacio son inseparables, sino que tampoco lo son de los cuerpos en movimiento. Por eso el espacio-tiempo no es un marco pasivo en el que se desarrollan los procesos físicos, sino que su estructura geométrica depende íntimamente de la materia que contiene (la masa, por su sola presencia, condiciona la estructura geométrica del espacio y el ritmo del tiempo).

Pero las leyes de Newton y el espacio euclideo eran algo que parecía intocable, sagrado. Con esas leyes de la naturaleza se podían predecir los eclipses, se había desarrollado la mecánica y con ella la revolución industrial. Casi todo lo que se conocía se podía explicar con las leyes de Newton, así que no había necesidad de aceptar esta nueva teoría si no aportaba nada nuevo. Pero sí que aportaba nuevos hechos y explicaba algunos que hasta entonces no tenían explicación. Los astrónomos sabían desde hacía tiempo que el perihelio de la órbita de Mercurio se desplazaba con el tiempo, algo que no se podía deducir de las leyes de Newton. En la TGR sin embargo este fenómeno se podía predecir y calcular.

De la TGR también se deduce, como antes se dijo, que los rayos de la luz se curvan al pasar cerca de los cuerpos materiales. Aunque el efecto es muy débil se debe de producir en la luz de las estrellas que pasa cerca del limbo solar, algo que se puede comprobar durante un eclipse total de Sol. En esta situación la luz de las estrellas deberían de sufrir una desviación de su trayectoria rectilínea al pasar por el espacio cercano al Sol. Una situación así se produjo en 1919 año en el que se produjo un eclipse total de Sol en el que dos expedicio-

nes inglesas dirigidas por Arthur Stanley Eddington comprobaron que la predicción de la TGR era correcta.

Resumen de los postulados de la Teoría de la Relatividad

I.- Postulado de la relatividad. Todas las leyes de la física son independientes del sistema de referencia. No hay sistemas de referencia privilegiados.

II.- Postulado de la luz. La velocidad de la luz en el vacío es constante y límite.

III.- Postulado de equivalencia. La masa inercial es equivalente a la masa gravitatoria.

Implicaciones

A partir de la TGR conocemos que el espacio-tiempo es distinto en cada punto en todo instante. Según la cantidad de materia-energía que haya en un determinado lugar, así será la geometría. El universo no está dado, se está haciendo. La métrica, la

espacialidad y la temporalidad del universo varían en cada instante en todo lugar. De ello se deduce que el espacio no es rectilíneo sino curvo en todas partes, siempre.

En las ecuaciones de la TGR se tiene a un lado la geometría y al otro la materiaenergía. La TGR viene a decir que geometría y materia son dos expresiones distintas de una sola realidad física.

Curiosidad

Cuando Einstein llegó a Nueva York un periodista le preguntó cómo podía exponerse el contenido de la teoría de la relatividad en unas pocas frases. Él contestó: *Anteriormente se creía que si todas las cosas materia-*

les desaparecieran del universo, quedaría el tiempo y el espacio. Sin embargo, de acuerdo con la teoría de la relatividad, el espacio y el tiempo desaparecerían juntamente con las cosas.

Einstein, trescientos años después, demuestra que el espacio y el tiempo están íntimamente relacionados, que no se puede hablar de espacio por un lado y del tiempo por otro, y que

| Antes de la TGR | Después de la TGR | Después de la TGR |
|-----------------|-------------------|--------------------------------|
| Espacio | Espacio-Tiempo | Espacio-Tiempo-Materia-Energía |
| Tiempo | | |
| Materia | Materia-Energía | |
| Energía | | |

Resumen

Isaac Newton cambió la descripción orgánica de la naturaleza (los fenómenos de la naturaleza son originados por dioses) por una visión de la naturaleza mecánica en la que es primordial el concepto de espacio absoluto y tiempo absoluto. Ese espacio absoluto es una categoría de la naturaleza y no depende para nada de que transcurra el tiempo o que no lo haga, ni cambia sus propiedades porque haya o no materia en él.

Einstein en la recepción del premio Nobel



los fenómenos de la naturaleza ocurren en un entramado espacio-temporal que se deforma por la presencia de los cuerpos materiales.

Ya no podemos decir que existe el Tiempo, ni el Espacio, ni la Materia, como entidades independientes, primordiales, como categorías fundamentales del universo. Es más apropiado decir que el universo tiene tres propiedades que podemos llamar temporalidad, especialidad y materialidad.

Las tres categorías clásicas de la naturaleza no existen. De la TGR se deduce que hay un único espacio-tiempo-materia imito que está en expansión, expansión que, en su propio funcionar, crea el espacio-tiempo. Tenemos así un universo que es un único todo total en funcionamiento.

Palabras de Einstein en las que se define a sí mismo (en 1930)

Mi apasionado interés por la justicia y la responsabilidad sociales ha estado siempre en violento contraste con mi falta de deseo de asociarme con hombres y mujeres. Soy un caballo para silla individual, no para tirar de un vehículo formando reata, trabajando con otros. Jamás he pertenecido de todo corazón a ningún país o estado, al círculo de mis amigos; ni siquiera a mi propia familia. Me he sentido en todo momento un

poco desligado de todos los lazos y el deseo de recluirme en mí mismo ha ido aumentando con los años. Este aislamiento es a veces amargo, pero no lamento haberme apartado de la comprensión y simpatía de los demás. Estoy seguro de perder algo con esta actitud, sintiéndome recompensado por haberme podido mantener independiente de las costumbres, opiniones y prejuicios de los otros, y no quiero arriesgar la tranquilidad de mi ánimo pretendiendo asentarla sobre cimientos tan frágiles.

BIOGRAFÍA CONSULTADA:

LA FÍSICA DEL SIGLO XX EN LA METAFÍSICA DE ZUBIRI. Francisco González de Posada.

Instituto de España. Madrid, 2001.

N O T A S AUTOBIOGRÁFICAS. Albert Einstein. Alianza Editorial, 1984 (1949)

SOBRE LA TEORÍA DE LA RELATIVIDAD ESPECIAL Y GENERAL. Albert Einstein. Alianza

Editorial, 1984 (1916).

FRASES ATRIBUIDAS A EINSTEIN

«La mente intuitiva es un sagrado regalo y la mente racional es un fiel sirviente. Nosotros hemos creado una sociedad que honra al sirviente y se ha olvidado del regalo.»

«...uno de los motivos más fuertes que llevan a los hombres al arte y a la ciencia es el escape de la vida cotidiana con su crudeza dolorosa y la tristeza desesperada, de las trabas de los propios deseos en la cambiante vida de uno. Una naturaleza finamente templada anhela escapar de la vida personal en el mundo de percepción objetiva y pensamiento.»

«La conducta ética de un hombre debe ser basada eventualmente en la simpatía, educación y en los lazos sociales; ninguna base religiosa es necesaria. El hombre estaría de hecho en una manera pobre si él tuviera que ser refrenado por el miedo de castigos y la esperanza de un premio después de la muerte.»

«Si los hechos no encajan en la teoría, cambie los hechos.»

«Lo que realmente me interesa es si Dios tenía alguna elección en la creación del mundo.»

«Si uno estudia con demasiado celo, puede perder los pantalones fácilmente.»

«A través del descargo de energía atómica, nuestra generación ha traído al mundo la fuerza más revolucionaria subsecuentemente desde el descubrimiento del hombre prehistórico del fuego. Esta fuerza básica del universo no puede encajarse en el concepto pasado de moda de nacionalismos estrechos. Allí no hay ningún secreto y no hay ninguna defensa; no hay ninguna posibilidad de control

excepto a través de la comprensión despertada e insistente de las personas del mundo. Nosotros, los científicos, reconocemos nuestra responsabilidad ineludible de llevar a nuestros ciudadanos compañero a una comprensión de la energía atómica y su implicación en la sociedad. En esto queda nuestra única seguridad y nuestra única esperanza - nosotros creemos que una ciudadanía informada actuará por la vida y no para la muerte.»

«Ante Dios nosotros somos todos igualmente sabios — e igualmente tontos.»

«Sería posible describir todo científicamente, pero no tendría ningún sentido; carecería de significado el que usted describiera a la sinfonía de Beethoven como una variación de la presión de la onda auditiva.»

«Quien nunca ha cometido un error nunca ha probado algo nuevo.»

«Yo nunca pienso en el futuro. Viene bastante rápido.»

«Intenta no volverte un hombre de éxito, sino volverte un hombre de valor.»

«El nacionalismo es una enfermedad infantil. Es el sarampión de la raza humana.»

«Si mi teoría de relatividad es probada exitosa, Alemania me exigirá como un alemán y Francia declarará que yo soy un ciudadano del mundo.»

«La Paz no puede lograrse a través de la violencia, sólo puede lograrse a través del entendimiento.»

Cuando le preguntaron si sabía con qué se lucharía en la Tercera Guerra Mundial él respondió que no sabía, pero sí sabía con qué se lucharía en la Cuarta; dijo: «con palos y piedras».

«La ciencia sin la religión es renga, la religión sin la ciencia es ciega.»
La ciencia, Filosofía y Religión: un Simposio (1941) el ch. 13

«La imaginación es más importante que el conocimiento.»

«La gravitación no es responsable de que las personas se enamoren.»

«Yo quiero conocer los pensamientos de Dios; el resto son detalles.»

«La realidad es meramente una ilusión, aunque uno es muy persistente.»

«La única cosa realmente valiosa es la intuición.»

«La debilidad de actitud se vuelve debilidad de carácter.»

«El eterno misterio del mundo es comprenderlo.»

«La única cosa que interfiere con mi aprendizaje es mi educación.»