

GRADO EN FILOSOFÍA

**EL MARCO FILOSÓFICO DE LA TEORÍA DE LA
RELATIVIDAD**

CURSO:2022-2023

Alumno: Iván Vega Becerra.

Tutora: C. Margarita Santana de la Cruz.

Índice:

1. Introducción.....	pág. 3.
2. Antecedentes.....	pág. 5.
2.1. Los orígenes del concepto físico de tiempo, la inmovilidad de la Tierra y las geometrías euclídeas.....	pág. 5.
2.2. Los orígenes de la cinemática, la movilidad de la Tierra.....	pág. 8.
2.3. La Mecánica clásica, la luz y las geometrías no euclídeas.....	pág. 9.
2.4. El carácter filosófico de la teoría de la Relatividad.....	pág. 12.
3. Estado actual.....	pág. 15.
4. Discusión y posicionamiento.....	pág. 17.
4.1. El tiempo y el espacio en la filosofía.....	pág. 17.
4.2. La fundamentación filosófica de la teoría de la Relatividad.....	pág. 20.
4.3. El marco filosófico de la teoría de la Relatividad.....	pág. 23.
5. Conclusión y vías abiertas.....	pág. 28.
6. Bibliografía.....	pág. 29.

1. Introducción:

A lo largo de la historia la noción de tiempo ha sido tratada tanto por filósofos como por científicos. Esta noción ha ido fluctuando con el transcurso de los años, y las preguntas sobre el tiempo y el espacio han ido conformando diversas ideas sobre nuestra realidad. Uno de los propósitos que se le encomiendan tanto a la filosofía como a la ciencia, es ayudar al ser humano a comprender la realidad última, por lo que las preguntas acerca de estos conceptos son de vital importancia para el objetivo de la ciencia y de la filosofía.

Así pues, queda establecido que la filosofía y la ciencia comparten un mismo objetivo: explicar el por qué de las cosas. La principal diferencia entre estas dos disciplinas son los medios que utilizan para lograrlo: la filosofía, por un lado, lo hace a partir de razonamientos y reflexiones; mientras que, por otro lado, la ciencia lo hace a partir de principios y evidencias. He aquí la posible causa de la supremacía del pensamiento científico sobre el pensamiento filosófico, que se refiere a la base sobre la que se sustentan ambos planteamientos. Sin embargo, considero que se le ha atribuido injustamente unas propiedades o cualidades de veracidad y certeza a la ciencia a la hora de explicar los fenómenos que conforman la realidad, puesto que las teorías que produce las elabora bajo unos parámetros aceptados propiamente por la ciencia, por lo que ella misma se corrobora y se sustenta, dando como resultado erróneas creencias acerca de nuestra realidad. Dichos parámetros son puestos en duda únicamente por el marco filosófico que rodea a la ciencia, razón por la que este marco es de vital importancia, ya que impide que la ciencia caiga en dogmas o no se cuestione a sí misma. La ciencia es y ha sido considerada como el máximo exponente de la verdad, mientras que la filosofía ha sido relegada a un segundo plano, un plano en el que no se le atribuye ningún mérito más que ser el motor para que la ciencia elabore sus teorías, omitiendo y separando el marco filosófico y la actividad científica.

Es por ello, que el presente trabajo tiene como objetivo mostrar el marco filosófico que rodea a una de las teorías más influyentes del siglo XX: la teoría de la Relatividad de Albert Einstein. Para desarrollar este planteamiento realizamos, en el primer apartado, un recorrido histórico por el concepto físico de tiempo, señalando el contexto filosófico de las teorías que posteriormente serán refutadas por la teoría de la Relatividad para, así, exponer cómo esta teoría incluye unos parámetros físicos del universo, pero también filosóficos. Posteriormente, en el segundo apartado, denominado “estado actual”, se muestran las

contribuciones que el científico realizó a la física y a la filosofía de la ciencia con dicha teoría. Finalmente, y con todos estos factores explicados, en el apartado de “discusión y posicionamiento”, se reúne el cuerpo teórico del trabajo, exponiendo la relación que presentan las concepciones filosóficas acerca de la noción del tiempo con la teoría de la Relatividad, para poner de manifiesto, de este modo, su propio marco filosófico, lo que nos permite subrayar el carácter físico, pero también filosófico, de la teoría einsteniana.

2. Antecedentes:

El concepto de tiempo se ha ido desarrollando y transformando en virtud del entendimiento y comprensión que se ha tenido del universo y de sus fenómenos. Esta comprensión ha sido posible gracias al pensamiento filosófico y a los avances científicos que han acompañado a la humanidad en el transcurso de la historia, los cuales se han producido en un marco no solo histórico, sino también social y político. Para entender el concepto de tiempo, es necesario hablar del concepto de espacio, puesto que la percepción de la realidad, es en última instancia una percepción espacio-temporal:

“El espacio y tiempo son tan familiares que se tiende a considerarlos como algo que se da por supuesto, olvidando que las ideas de tiempo y espacio forman parte de la base movediza sobre la que se asienta toda la bella e intrincada construcción de la teoría científica y el pensamiento filosófico”¹.

De esta manera, para entender la evolución de las nociones de espacio y de tiempo, debemos considerar no sólo los avances y desarrollos científicos implicados en ella, sino también los marcos teóricos y filosóficos que envuelve y que han impulsado dicho desarrollo de la ciencia. Por ello, es importante realizar un breve recorrido histórico sobre las distintas concepciones de las ideas de tiempo, espacio y universo, para ver cómo se han ido modificando hasta la actualidad en relación con tales marcos.

2.1. Los orígenes del concepto físico de tiempo, la inmovilidad de la Tierra y las geometrías euclídeas.

Para poder entender el concepto físico de tiempo, hay que tener presente que este surge de una serie de conceptos científicos impulsados por nuestro mundo cultural, nuestro lenguaje y vida, así como del concepto filosófico de tiempo. Por consiguiente, para entender el concepto físico de tiempo debemos mencionar el concepto filosófico asociado a él, que se asienta en los orígenes del mismo. El filósofo Aristóteles concebía el tiempo como “número del movimiento según el antes y después”², por lo que el tiempo es continuo y pertenece al movimiento; no es un movimiento, sino un número del movimiento. El filósofo concibe el

¹ Banesh Hoffmann, *La relatividad y sus orígenes* (España: Labor, 1985) 2.

² Aristóteles, *Física*, (Madrid: Gredos, 1995) 271.

movimiento como una transformación, como un cambio, este cambio no refiere a un cambio del lugar, sino más bien a un cambio de cualquiera de sus cualidades. A raíz de este tiempo del cambio, aparecerá posteriormente la física entendida como estudio de la variación de diversas cualidades en función del tiempo, lo que significa que, a partir de dicho concepto filosófico de tiempo, se elaborará el concepto físico de tiempo, el cual se establece en la cinemática, o lo que es lo mismo, la teoría del movimiento. La cinemática originalmente se centraba en estudiar los movimientos de los astros. Antiguamente, la humanidad creía que la Tierra era el centro del universo y que era inmóvil; el simple hecho de plantearse siquiera que fuera capaz de moverse era absurdo, puesto que las únicas cosas que realmente se movían eran los astros que orbitaban cerca de ella:

“Rodeando a la Tierra, como dando testimonio de la importancia cósmica de la misma, estaba la imponente bóveda celeste, que parecía ser una esfera engastada de estrellas fijas que relucían como preciosas joyas, una esfera que giraba majestuosamente al rededor de la Tierra una vez al día”³.

Tuvo que pasar mucho tiempo para que alguien con la suficiente valentía intelectual fuese en contra de esta creencia y se aventurase a concebir una Tierra en movimiento. Para hacerlo, había que superar dos obstáculos: el primero, ir en contra de la experiencia ordinaria y del sentido común, porque todo lo que observamos nos indica que es geoestática, y es imposible determinar, sin salirnos del punto de referencia de nuestra observación, que es la Tierra misma, si está en movimiento; y el segundo, renunciar al protagonismo absoluto que otorgaba al ser humano su posición central en el universo, ya que “una Tierra en movimiento no podría ser concebida como el centro fijo del universo, y por lo tanto la humanidad sería destronada de su papel central en el esquema de las cosas; una conclusión aterradora que, ni legos ni teólogos, cualesquiera que fuesen sus creencias, estaban dispuestos a aceptar”⁴.

La civilización griega se caracterizaba por su carácter metodológico y filosófico a la hora de analizar y explicar la realidad, por lo que los griegos empezaron a reflexionar sobre el mundo físico que los rodeaba. De esta manera, la filosofía natural “abordó como cosa propia todo tipo de problemas, particularmente los cosmológicos anteriormente tratados por la

³ Banesh Hoffmann, *La relatividad y sus orígenes* (España: Labor, 1985) 5.

⁴ Hoffmann, *La relatividad y sus orígenes*, 5-6.

mitología y la religión”⁵. No se tiene la certeza de quiénes fueron los primeros individuos en poner en duda la estaticidad de la Tierra, sin embargo, no es descabellado otorgarle el logro a los pitagóricos⁶. Los pitagóricos creían que la Tierra recorría diariamente una órbita circular, realizando siempre este recorrido con una de sus caras mirando hacia el centro. No obstante, y básicamente por las razones mencionadas, esta cosmología “alternativa” sólo fue una posibilidad no contemplada seriamente: la inmovilidad de la Tierra tenía carácter de axioma cosmológico. El sistema astronómico de la época estaba basado “en el principio aristotélico de que el movimiento circular uniforme y perpetuo, era el movimiento natural del mundo incorruptible supralunar. Eso constituye ya un primer esquema cinemático, en el que el decurso del tiempo se manifiesta simplemente en el ángulo de rotación de esas esferas”⁷, pero en ningún momento plantea la movilidad de la Tierra. A pesar de los problemas que presentaba esta teoría, pesaba más la suculenta y satisfactoria idea de una Tierra fija, por lo que este sistema perduró. Tras el paso de los siglos, la astronomía no hizo grandes avances, y la Tierra permaneció inmóvil para sus habitantes.

Por otro lado, los griegos fundamentaron la geometría bajo la categoría de axiomas⁸ abstractos. El mayor exponente de las matemáticas en la antigua Grecia fue Euclides. Su influencia en la geometría fue tal, que incluso el nombre de la disciplina quedó asociado a su nombre: la geometría euclídea. La argumentación geométrica que expone Euclides se basa y se fundamenta en un conjunto de axiomas que el matemático denominó postulados. Los famosos cinco postulados de Euclides son los siguientes: dados dos puntos se pueden trazar una recta que los una; cualquier segmento puede ser prolongado de forma continua en una recta ilimitada en la misma dirección; se puede trazar una circunferencia de centro en cualquier punto y radio cualquiera; todos los ángulos rectos son iguales; si una recta, al cortar a otras dos, forma los ángulos internos de un mismo lado menores que dos rectos, esas dos rectas prolongadas indefinidamente se cortan del lado en el que están los ángulos menores que dos rectos. El postulado más relevante de Euclides es este último, que afirma que por un punto exterior a una recta se puede trazar una única paralela.

⁵ Carlos Solís y Manuel Sellés, *Historia de la ciencia* (Madrid: Espasa, 2009) 63.

⁶ Curiosamente, algunos de los progresos más importantes en la relatividad serán extraídos del teorema de Pitágoras.

⁷ Manuel García Doncel, “El tiempo en la física: de Newton a Einstein”, *Enrahonar*, n.º 15 (1989): 41.

⁸ Principios o propiedades que se admiten como ciertas por ser evidentes y a partir de los cuales se deduce todo lo demás.

2.2. Los orígenes de la cinemática, la movilidad de la Tierra.

La idea de la Tierra inmóvil perduró hasta los inicios del siglo XVI, momento en el que una sucesión de progresos brillantes empezará a alumbrar una revolución científica, la revolución copernicana y, por tanto, una nueva astronomía. Copérnico, a pesar de su puesto eclesiástico y su formación teológica, fue en contra de la herencia cultural y de la creencia de la Iglesia romana que señalaba la estaticidad de la Tierra, y se aventuró a decir que giraba sobre su propio eje diariamente y que se movía alrededor del Sol anualmente, justificando su teoría con una riqueza matemática y física que terminó imponiendo la idea de una Tierra móvil ⁹. Sin embargo, el sistema copernicano, antes de su total aceptación, fue objeto de innumerables críticas, lo que indica el enorme peso e influencia del sistema geo-estático y geocéntrico, a la vez que sirvió de impulso para la elaboración de nuevas propuestas y con estas, nuevos progresos. En este sentido es importante destacar el marco filosófico en el que se inserta el sistema copernicano.

Entre los opositores a dicho sistema se encuentra Tycho Brahe, quien no era contrario a la estructura del sistema copernicano, sino a la movilidad de la Tierra: “Sencillamente, era demasiado piadoso para contradecir las palabras de la Biblia, y demasiado aristotélico para aceptar el movimiento de la Tierra, al que se opuso a cañonazos” ¹⁰. Brahe le confió a Kepler los registros de sus observaciones para que elaborara su sistema. La principal motivación de Kepler era teológica, ya que su misticismo religioso era una parte esencial de su ciencia. A pesar de esto, Kepler tenía presente la equivalencia geométrica que presentaban las hipótesis de Copérnico y Brahe, por lo que era consciente de que la diferencia entre ellas debía buscarse en la física. La astronomía de Kepler, así, fue más allá que la de Copérnico, ya que “gracias a los datos precisos de Brahe elaboró unos principios astronómicos que centuplicaron la precisión de las predicciones” ¹¹. A partir de los datos de Brahe, Kepler se percató de una influencia magnética rotatoria procedente del Sol, la cual, podría ser la razón del movimiento de los planetas. No obstante, esto significaría que el centro de las órbitas planetarias se encontraba en el propio Sol, y no el centro vacío e inmaterial de la órbita terrestre, tal y como había expuesto Copérnico. A raíz de este descubrimiento, Kepler halló tres leyes del movimiento planetario. Es preciso destacar que este descubrimiento, al

⁹ Los escritos de Copérnico no se publicaron hasta los últimos años de su vida.

¹⁰ Carlos Solís y Manuel Sellés, *Historia de la ciencia* (Madrid: Espasa, 2009) 371.

¹¹ Solís y Sellés, *Historia de la ciencia*, 375.

contrario de sus predecesores, viene inspirado por la filosofía magnética de W. Gilbert y no por la línea marcada por la física. Kepler transformó la astronomía e introdujo “otra medida espacial del tiempo: ciertos períodos de tiempo están ahora directamente relacionados con ciertas distancias espaciales”¹².

2.3. La mecánica clásica, la luz y las geometrías no euclídeas.

Al igual que Kepler, Galileo mantenía que la tierra se encontraba en movimiento. Sin embargo, y por asombroso que parezca, el trabajo más revolucionario de Galileo Galilei está relacionado con los movimientos de los cuerpos no celestes, rompiendo así con los paradigmas de la época. Dicho trabajo supuso la creación de los cimientos de la ciencia de la mecánica¹³, y lo hizo bajo un marco filosófico sustentado por un gran contenido científico. Galileo, con un pensamiento crítico, desafió las creencias aceptadas y preparó el camino a seguir para pensadores como Newton o Einstein. Descubrió una serie de razones teóricas y experimentales acerca del movimiento, y a raíz de esas ideas de movimiento expone lo que es la aceleración: “para una pendiente dada, la razón del incremento de la velocidad de una esfera con respecto a la distancia recorrida sería constante [...] la razón de la variación de la velocidad con respecto al tiempo en vez de la distancia[...] era constante”¹⁴. Es decir, la velocidad va creciendo proporcionalmente al tiempo. Galileo concluyó que si se ignoran la resistencia del aire y otros factores, los cuerpos que se dejan caer libremente cerca de la Tierra caen con una aceleración constante, la misma para todos, independientemente de su peso o forma, o lo que es lo mismo, “los espacios recorridos en diversos tiempos de caída son proporcionales a los cuadrados de esos tiempos”¹⁵.

Con estos descubrimientos acerca del movimiento, Galileo pudo concluir que “el movimiento natural de una partícula libre es el movimiento uniforme y rectilíneo”¹⁶. El descubrimiento de dicha ley supuso una revolución en la ciencia de la mecánica. El filósofo francés René Descartes logró llegar a una conclusión semejante por un método diferente: el de la filosofía. Descartes abordó esta cuestión bajo un terreno más filosófico que experimental, ya que mantenía que en ausencia de fuerzas externas, el movimiento de un

¹² Manuel García Doncel, “El tiempo en la física: de Newton a Einstein”, *Enrahonar*, n.º 15 (1989): 41-42.

¹³ La ciencia que estudia las fuerzas y sus efectos sobre los movimientos.

¹⁴ Banesh Hoffmann, *La relatividad y sus orígenes* (España: Labor, 1985) 25.

¹⁵ Manuel García Doncel, “El tiempo en la física: de Newton a Einstein”, *Enrahonar*, n.º 15 (1989): 42.

¹⁶ Banesh Hoffmann, *La relatividad y sus orígenes* (España: Labor, 1985) 29.

objeto será uniforme y rectilíneo. Para argumentar lo expuesto, Descartes señala que Dios, al ser inherentemente perfecto, es a su vez inmutable, al igual que sus actos; por ende, Dios, al crear el movimiento y reposo de la materia, otorga diversos movimientos a las partes de la misma, las cuales deben ser semejantes a como las creó en un primer momento, es decir, deben conservar la misma cantidad de movimiento.

Esta ley física de Descartes influyó enormemente en Isaac Newton a la hora de elaborar su obra *Philosophiae naturalis principia mathematica*, en la cual define conceptos como: masa, cantidad de movimiento, inercia, fuerza, y fuerzas centrífugas. Estos conceptos intervienen directamente en sus leyes. La obra de Newton exponía “aquellos principios matemáticos que, aplicados a los problemas de la filosofía natural, podrían arrojar luz sobre estos últimos [...] comenzó por exponer sus ideas acerca de la naturaleza del espacio y del tiempo, que constituyen el marco fundamental en el que se desarrollan los sucesos físicos”¹⁷. Newton, desde una concepción filosófica del mundo, pretendía demostrar matemáticamente cómo funcionan la Tierra y el universo, es decir, entender cómo actúan los cuerpos. Para ello, elaboró una serie de leyes físicas que regían todo el universo.

La primera ley del movimiento de Newton, también conocida como ley de inercia, expone que todo cuerpo se encuentra en un estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme, a menos que sea obligado a cambiar de estado por fuerzas ajenas que actúen sobre él. Newton se atrevió a dar una validez cósmica a sus leyes, no sólo se limitó a la Tierra, pero para hacerlo debía resolver un serio problema: ¿cómo se le puede dar un sentido cósmico a las ideas de reposo y movimiento rectilíneo si la Tierra no se encuentra fija? *A priori* no parece haber solución posible, pero Newton la encontró: “Concibió un espacio absoluto universal que, por fiat, era siempre y en todas partes el mismo y siempre y en todas partes estaba en reposo”¹⁸. Ahora bien, ¿cómo se puede saber si un movimiento rectilíneo es uniforme? La respuesta parece obvia: marcar las longitudes iguales sobre la línea y comprobar si son recorridas en tiempos iguales. El problema aparece al entender que para medir tiempos se necesita de un reloj, el cual funciona irregularmente, por lo que el movimiento no será concebido como uniforme. Por ello, Newton concibió un tiempo absoluto, verdadero y matemático, exponiendo que, por su propia naturaleza, fluye uniformemente sin relación con nada externo, esto es, la duración. Así, con un espacio y

¹⁷ Leslie Pearce Williams, *Albert Einstein y otros. La teoría de la relatividad* (Barcelona: Altaya, 1993) 17.

¹⁸ Banesh Hoffmann, *La relatividad y sus orígenes* (España: Labor, 1985) 35.

tiempo absoluto, pudo expresar sus leyes bajo un marco cósmico, argumentando que como el orden de las partes del tiempo es inmutable, lo son del mismo modo las partes del espacio. De este modo introdujo un espacio absoluto con el objetivo de presentar un reposo y movimiento absolutos, puesto que sus leyes implicaban un principio de relatividad que indicaba que el reposo y el movimiento uniforme eran relativos.

Sin embargo, después de estudiar las leyes del comportamiento de los cuerpos físicos, surge una nueva pregunta: ¿la luz se mueve? El astrónomo James Bradley estudió el movimiento anual de las estrellas visibles desde la Tierra. Bradley creía que dicho movimiento era una apariencia y no una realidad, y encontró posteriormente la explicación para los movimientos estelares: la aberración de la luz. Se deduce así que la idea de una luz que viaja, explica de modo cualitativo el efecto observado, por lo que existe la velocidad de la luz. Ahora bien, ¿qué es la luz, si esta es capaz de moverse tan rápido? Diversos científicos ¹⁹ mantenían que la luz estaba formada por partículas, mientras que otros argumentaban que se trataba de ondas. La teoría corpuscular resultó ser la preferida entre los pensadores de la época, dejando a la teoría ondulatoria apartada de momento. Posteriormente, Thomas Young atacó la teoría corpuscular defendiendo que la luz consistía en ondas. Para hacerlo introdujo la interferencia de la luz, que afirma que la luz incidiendo sobre la luz misma podía producir oscuridad. Así, y teniendo en cuenta que una partícula no puede suprimir a otra, la teoría ondulatoria se impuso a la corpuscular, y la luz se empezó a considerar como onda, por lo que transmite energía e información. No obstante, aún había un inconveniente: dichas ondas precisan de un medio en el que propagarse, el éter. El éter debía llenar todo el espacio, puesto que si podemos ver un objeto, debe haber un éter ininterrumpido para llevar las ondas a nuestros ojos. En virtud de esta idea, influenciado por Michael Faraday y bajo el marco newtoniano del espacio y tiempo absoluto, James Clerk Maxwell expuso su teoría electromagnética, en la que mostró cómo la electricidad y el magnetismo se encontraban relacionados al constituir dos facetas de una misma entidad: el electromagnetismo. La luz misma es una simple manifestación de este electromagnetismo unificado. Así, Maxwell mantiene en su teoría que “la velocidad de la luz en el vacío es constante, pero como no se podía explicar esta constancia independientemente de cualquier sistema de referencia, se supuso que la velocidad de la luz debía estar referida a un sistema absoluto fijo en el éter” ²⁰. Sin embargo, bajo el sistema newtoniano, los científicos no eran capaces de explicar el nulo

¹⁹ Entre ellos Newton.

²⁰ Andrés Rivvadulla, *Revoluciones en Física*, (Madrid: Trotta, 2003) 123.

efecto observable del éter en los movimientos planetarios. La teoría de Maxwell puso de manifiesto los problemas de la mecánica clásica de Newton sobre la velocidad de la luz y los objetos en movimiento. La solución de la época fue mantener que la relatividad newtoniana sería aplicable sólo a los experimentos mecánicos, mientras que los experimentos ópticos estarían sometidos al carácter absoluto postulado por Newton.

Por otro lado, los “principios de la geometría euclídea fueron objeto de progresivas revisiones [...] No se trataba de dudar de la veracidad de los *Elementos* de Euclides en su globalidad; lo que se ponía en tela de juicio era más bien uno de sus axiomas”²¹, el más relevante de todos, el expuesto en el quinto postulado. En 1817 Gauss llegó al convencimiento de que el quinto axioma era independiente de los otros cuatro, por lo que comenzó a idear una geometría en la cual se podía trazar más de una paralela por un punto externo. De esta forma acuñó el término “geometría no euclídea”, aunque la primera publicación de una geometría de este tipo pertenece a Nikolai Ivanovich Lobachevsky, lo que da lugar a las geometrías no euclídeas como proyecto.

El quinto postulado, como se ha expuesto, mantiene que la suma de los ángulos internos de un triángulo es de 180° . Ahora bien, puesto que en las geometrías esférica e hiperbólica esto no se cumple, tampoco ocurrirá lo mismo en el caso de los ángulos internos de un triángulo, ya que si la geometría es hiperbólica, la suma será menor que 180° , y habrá un defecto. En el caso de la geometría esférica (o elíptica) ocurre lo contrario, y ese valor es mayor que 180° , es decir, hay un exceso: “El nuevo concepto de la geometría que Gauss inventó llegó a su expresión en la labor de su alumno Bernhard Riemann. Años más tarde, Einstein se apoyaría en la intuición de Gauss y Riemann para dar forma matemática a su teoría de la Relatividad”²².

2.4. El carácter filosófico de la teoría de la Relatividad.

A raíz de los descubrimientos de Galileo y de Newton, así como de la aceptación de las geometrías no euclídeas, surge un universo mecánico, de fuerzas, presiones, tensiones, oscilaciones y ondas. La ciencia se había impuesto a la filosofía, no había ningún tipo de

²¹ Julian Schwinger, *El legado de Einstein. La unidad del espacio y el tiempo* (Barcelona: Prensa Científica, 1995) 169.

²² Schwinger, *El legado de Einstein. La unidad del espacio y el tiempo*, 155.

fenómeno en la naturaleza que no pudiese ser entendido y descrito en términos científicos. Gracias a las exactas leyes de la mecánica de Newton era posible entender el universo, o al menos eso era lo que se pensaba. Pero, como hemos visto, las leyes de Newton presentaban una serie de desviaciones, que por ligeras que fueran, provocaron que la teoría newtoniana se pusiera en duda, dado que su naturaleza era tan fundamental que por pequeña que fuera la incongruencia no se podía pasar por alto, “todo el universo semejante a una máquina de Newton empezó a desmoronarse. La certeza de que la ciencia pueda explicar cómo pasan las cosas empezó a debilitarse [...] Actualmente nos preguntamos si el hombre de ciencia estará siquiera en contacto con la “realidad”, o puede tener la esperanza de llegar algún día a estarlo”²³. Las afirmaciones de Newton sobre el espacio y tiempo absolutos tendrán una serie de repercusiones filosóficas, por lo que aparece de nuevo la pregunta: ¿qué es lo real?

Hume, en el *Tratado de la naturaleza humana*, “criticará las ideas filosóficas básicas de «sustancia» y de «causalidad», pero no tanto las nociones de «espacio» y de «tiempo». Cree que estas últimas satisfacen el criterio empirista de estar basadas en percepciones, aunque no sean directamente percibidas”²⁴. Según Hume, el tiempo y el espacio son ideas indivisibles del orden de sucesión y de colocación de los objetos respectivamente, por lo que la crítica a la causalidad que realiza servirá como base filosófica para la elaboración de la teoría de la Relatividad de Einstein. Por otro lado, Leibniz, a raíz de la distinción que elaboró John Locke sobre las cualidades primarias y secundarias de la materia, expuso que la luz, el calor, el color, y otras propiedades semejantes, además del movimiento, la forma y la extensión, son meras propiedades aparentes. Así pues, tanto filósofos como científicos llegaron a la conclusión de que “como todo objeto es simplemente la suma de sus propiedades, y como éstas sólo existen en la mente, todo el universo objetivo de la materia y la energía, de los átomos y las estrellas, no existe más que como una construcción de nuestra consciencia”²⁵. La reducción de la realidad objetiva y las limitaciones que presentan los sentidos humanos, supusieron un giro en el paradigma científico, el cual empezó a poner en duda todo lo que había sido establecido.

Así, a raíz de la teoría electromagnética de Maxwell que, como se expuso con anterioridad, mantiene que la velocidad de la luz en el vacío es constante sólo si está referida

²³ Lincoln Barnett, *El universo y el doctor Einstein* (México: Fondo de Cultura Económica, 1964) 13.

²⁴ Manuel García Doncel, “El tiempo en la física: de Newton a Einstein”, *Enrahonar*, n.º 15 (1989): 47-48.

²⁵ Lincoln Barnett, *El universo y el doctor Einstein* (México: Fondo de Cultura Económica, 1964) 16.

a un sistema absoluto fijo en el éter, en 1887 A. Michelson y W. Morley intentaron medir la velocidad de la luz respecto a la Tierra en diferentes direcciones. Su objetivo era constatar si la velocidad de propagación de la luz en relación a la Tierra depende del rumbo de propagación, es decir, si la velocidad de la luz es relativa. Con este experimento como referencia, el alemán Albert Einstein (1879-1955) expuso que “era la velocidad de la luz la que debía ser la misma en todas las direcciones e independientemente del movimiento del observador”²⁶. Descarta así la existencia del éter y plantea la posibilidad de que el espacio y el tiempo no tengan un carácter absoluto. A su vez, las nuevas geometrías no euclídeas representaban las posibles formas del universo, lo que permitía estudiar con mayor profundidad el funcionamiento del mismo. Todos estos factores constituyen la nueva visión del universo, en la que se articula la teoría de la Relatividad: el tiempo y el espacio se conciben como un conocimiento que “no es más que un residuo de impresiones oscurecidas por nuestros sentidos imperfectos”²⁷, lo que *a priori* “parece convertir a la pregunta por la realidad en algo totalmente desesperanzado: si nada tiene existencia, excepto en la forma de ser percibido, el mundo se disolvería en una anarquía de percepciones individuales”²⁸. El conjunto de factores al que hemos hecho referencia nos muestra que las influencias y motivaciones del trabajo de Einstein son tanto de tipo científico como filosófico, lo que supone que sus contribuciones no se reducen simplemente al ámbito de la física, sino también al de la filosofía.

²⁶ Andrés Rivvadulla, *Revoluciones en Física*, (Madrid: Trotta, 2003) 127.

²⁷ Lincoln Barnett, *El universo y el doctor Einstein* (México: Fondo de Cultura Económica, 1964) 17.

²⁸ Barnett, *El universo y el doctor Einstein*, 17.

3. Estado actual:

No existe duda alguna de la trascendencia de las contribuciones a la física teórica que realizó Einstein, sus aportaciones han derivado en resultados experimentales y teóricos tales como: la detección de ondas gravitacionales, la expansión del universo, la termodinámica de agujeros negros, o propiedades de sistemas cuánticos. Sin embargo, su contribución a la filosofía actual de la ciencia no es menos relevante. Por este motivo, en el presente apartado se abordará la exposición de sus principales influencias filosóficas a fin de apreciar la que él mismo va a mantener y a ejercer sobre el mundo intelectual y cultural de su época.

En su autobiografía, el físico alemán reconoce la importancia que tuvo Hume en la elaboración de su teoría, en concreto su crítica al concepto de causalidad, asimismo, la influencia del positivismo de Ernst Mach en Einstein también es innegable, aunque aquí es necesario matizar lo siguiente: algunos pensadores, como Hans Reichenbach, sitúan a Einstein próximo a las tendencias del empirismo lógico argumentando que para comprender e interpretar el experimento de Michelson-Morley como lo hizo, el físico debía atenerse a una filosofía en la que el sentido de un enunciado sea capaz de ser reducido a su verificabilidad. Sin embargo, no se puede reducir meramente la posición filosófica de Einstein a esta concepción, puesto que sus contribuciones no se ciñen meramente a esta interpretación. De hecho, y en sentido inverso, su influencia sobre el Círculo de Viena y los positivistas lógicos es casi nula, a diferencia de Popper, quien lo cita en su obra *Los dos Problemas Fundamentales de la Epistemología* y aplaude el papel anti inductivista del físico.

Ahora bien, si se quiere hablar de filosofía en el trabajo de Einstein, o de su posición filosófica, es necesario aludir al realismo científico. Einstein adopta un realismo local como posición filosófica opuesta a la mecánica cuántica, que afirma que los valores de las propiedades físicas de un sistema individual dado, existen independientemente de si este es observado o no. El físico alemán concibe a la física como un esfuerzo por aprehender conceptualmente la realidad como algo independiente de la percepción. El objetivo de la ciencia, a su juicio, que liga a su anti-inductivismo, consiste en abarcar por deducción lógica el mayor número de sucesos empíricos a partir del menor número de hipótesis. Por consiguiente, también defiende el proceso mediante el cual el científico consigue llegar hasta una serie de leyes elementales y universales, puesto que lo hace mediante la deducción. Esto es, no existe un método inductivo que conduzca a los conceptos fundamentales de la física,

ya que el pensamiento lógico es necesariamente deductivo al basarse en conceptos hipotéticos y en axiomas. De esta manera, afirma que un conjunto de hechos empíricos no puede conducir al establecimiento de una teoría. Sin embargo, asume que la falsabilidad es el máximo criterio a través del cual dotamos de carácter científico a un conjunto de proposiciones o a un modelo. Por ejemplo, la teoría de la relatividad exige que las leyes de la naturaleza sean invariables, puesto que si una sola de sus conclusiones es errónea se debe abandonar la teoría en su totalidad. Defiende, igualmente, que el objetivo de una teoría física aceptada y bien fundada es el de mostrar el camino para el establecimiento de otra teoría más compleja, y en tal sentido considera fundamental la utilización de la predicción ²⁹ para la introducción de hipótesis en la física, porque permite mostrar cómo diversas ideas novedosas se pueden anticipar en ciencia mediante un razonamiento deductivo.

Es innegable, entonces, que son escasos “los físicos teóricos de la talla de Albert Einstein han estado tan próximos, como él, al quehacer y desarrollo de la filosofía de la ciencia. Pocos como él merecieron ser reconocidos como filósofo-científico” ³⁰. Su metodología supone una de las mayores contribuciones a la filosofía de la ciencia, sus aportaciones van desde la defensa del carácter deductivo de la física teórica, hasta su insistencia en la falsabilidad como criterio de demarcación científico, ideas que siguen teniendo vigencia actualmente. Su papel como científico y, sobre todo, como pensador “le hacen merecedor de ser considerado entre los mejores filósofos de la ciencia del siglo pasado, muchas de cuyas huellas aún quedan por explorar” ³¹.

²⁹ Aplicación del razonamiento deductivo en el descubrimiento científico.

³⁰ Andrés Rivadulla Rodríguez, “Albert Einstein y la Filosofía actual de la Ciencia”, Trabajo realizado en el marco del grupo complutense de investigación *Filosofía del lenguaje, de la Naturaleza y de la ciencia*, y del proyecto de investigación sobre *Modelos teóricos en ciencia y racionalidad pragmática*, (España, 2012) 379.

³¹ Rivadulla, “Albert Einstein y la Filosofía actual de la Ciencia”, 379.

4. Discusión y posicionamiento:

El objetivo del presente apartado es exponer la relación que existe entre los conceptos filosóficos de tiempo y espacio, con los conceptos de espacio y tiempo que Einstein defiende en su teoría de la Relatividad para poder mostrar el marco filosófico que envuelve a dicha teoría. Para ello se abordarán las diferentes concepciones filosóficas del tiempo, anteriores a la misma, que servirán como base para la elaboración de posteriores reflexiones acerca de las principales implicaciones de esta teoría en el pensamiento filosófico y el humanismo, es decir, en la idea que el hombre contemporáneo tiene de sí mismo. Es por ello que, a pesar de que el trabajo está centrado principalmente en el concepto del tiempo, en ocasiones se hará referencia al concepto de espacio, pues la experiencia de los individuos es esencialmente espacio-temporal, así como a la relación de tales conceptos con la mecánica cuántica..

4.1. El tiempo y el espacio en la filosofía.

No existe duda alguna de que cualquier acción que se realice en el mundo sucede en un espacio-tiempo, es decir, el ser humano se encuentra atado al tiempo, que le afecta, le rodea, incluso “malgasta” el tiempo que precisa. A su vez, “decir que las cosas suceden en el tiempo equivale en parte a decir que ocurren en cierto orden. Decir que las cosas están situadas en el espacio da a entender que tienen cierta posición las unas con respecto a las otras”³². Queda claro, por tanto, que las cosas suceden en un espacio y transcurren en un tiempo, pero ¿qué es el tiempo?

A lo largo de la historia, la cuestión sobre el tiempo ha llamado la atención de la ciencia y la filosofía, siendo un tema que se ha tratado y estudiado en profundidad. Sin embargo, salvo aquellas personas expertas en él, no hay mucha gente que pueda dar una descripción o definición adecuada del tiempo. ¿Cómo se define entonces? Según el diccionario de la Real Academia Española, el tiempo se puede definir como: “duración de las cosas sujetas a mudanza”³³. Así pues, estas “cosas que se encuentran sujetas a mudanzas van desde las galaxias que pululan por el universo hasta partículas subatómicas que componen la

³² Bas C. van Fraassen, *Introducción a la filosofía del tiempo y del espacio* (Barcelona: Labor, 1978) 11.

³³ Real academia española: Diccionario de la lengua española, 23.ª ed., (versión 23.6 en línea) <<https://dle.rae.es>>, acceso el 9 de mayo de 2023. <https://dle.rae.es/tiempo>.

misma materia que forma esas galaxias”³⁴. Sin embargo, para entender en su totalidad la definición de tiempo se debe acudir a la palabra duración, que según la RAE, se define como: “tiempo que dura algo o que transcurre entre el comienzo y el fin de un proceso”³⁵. Dicho de otro modo: para poder definir la palabra tiempo es preciso acudir a una palabra que alude al paso del tiempo.

Esta cuestión recuerda a la definición de tiempo elaborada por Immanuel Kant en *La crítica de la razón pura*, obra en la que señala que en lo empírico hay algo puro a lo que debemos llamar “intuiciones puras de la sensibilidad”, que son las que se refieren al tiempo y al espacio. Ambas intuiciones constituyen *a priori* necesarios que, además, generan juicios sintéticos, y que, por ejemplo, son la base de las matemáticas (detrás de la geometría está el espacio y detrás de las propias matemáticas está el tiempo), por lo que se entiende que nuestro mundo se ordena en virtud de estas intuiciones puras del entendimiento. Cuando nos queremos referir a un concepto debemos recurrir a cosas que están fuera del objeto del que se está hablando, pero, en cambio, cuando se habla del tiempo y del espacio se recurre a ellos mismos, es decir, un segmento o trozo del tiempo y del espacio no pueden entenderse sin la totalidad del tiempo y del espacio. Por consiguiente, el tiempo constituye una forma pura de la intuición sensible, es decir, se trata de un elemento *a priori* sin el cual no podrían tener lugar los fenómenos de nuestra realidad, teniendo en cuenta que no se trata de algo totalmente objetivo, ya que es el sujeto trascendental, según Kant, quien lo “pone” en su mundo, su realidad. El tiempo es, en última instancia, una intuición pura *a priori*, esto es, que no se precisa acudir a la experiencia sensible para identificar lo que es. Esta concepción del tiempo recuerda al realismo que Einstein defiende frente a la postura de la mecánica cuántica; el realismo defendido por Einstein refiere a que las propiedades físicas de un objeto o sistema dado, existen independientemente de si dichas propiedades son observadas o no.

Así pues, no se puede determinar o explicar lo que es el tiempo sin acudir a este mismo. Se ha visto, cómo, según Kant, es imposible entender el tiempo sin referirse a él, y lo mismo ocurre con el espacio. Ahora bien, ¿ha sido siempre la misma la concepción filosófica acerca del tiempo y del espacio? ¿Siempre se ha referido a lo mismo? En el libro *Física*, Aristóteles desarrolla su teoría del tiempo y la fundamenta en unos parámetros que él

³⁴ Rafael Sala Mayato, *El tiempo en mecánica cuántica. La estela invisible* (Madrid: Pirámide Grupo Anaya, S.A., 2021) 17..

³⁵ Real academia española: Diccionario de la lengua española, 23.^a ed., (versión 23.6 en línea) <<https://dle.rae.es>>, acceso el 9 de mayo de 2023. <https://dle.rae.es/duraci%C3%B3n>.

considera correctos. Expone el papel esencial que tienen las nociones de cambio, movimiento y devenir en la definición de tiempo, lo que hace necesario abordar las características de la teoría aristotélica del cambio y movimiento para, posteriormente, ocuparnos de su concepto de tiempo.

La teoría aristotélica del tiempo es una teoría de la duración, por lo que el movimiento es un concepto básico: todo individuo tiene una “sensación” sobre el transcurrir del tiempo que se ve reflejada en el movimiento. Este, a su vez, consta de tres partes: cambio respecto de la cualidad; cambio respecto de la cantidad; y cambio respecto al lugar. Estas partes se encuentran en un orden concreto, así, “un cambio va de un término inicial a otro final; y por supuesto, el cambio puede pasar por algunos estadios intermedios”³⁶. Por consiguiente, Aristóteles concibe el movimiento en el sentido de transformación, de cambio, de lo que se deduce que el término que en el tiempo precede inmediatamente al movimiento será el término inicial; es decir, el tiempo supone los límites del “antes” y el “después”, los cuales aluden a un orden, a una consecución, a un “previamente” y “posteriormente”. El tiempo, por tanto, guarda relación con el movimiento, no con aquello que se mueve o es movido. Dice el Estagirita: “todo movimiento es en el tiempo: porque su rapidez y lentitud se determinan por el tiempo; porque el antes y el después son en el tiempo. [...] El tiempo es primariamente el número del movimiento circular primero. El tiempo cíclico de los asuntos humanos. Identidad y diferencia de los números”³⁷. De esta manera define el tiempo como el número de movimiento.

Ahora bien, Aristóteles no es el único pensador que ha relacionado el tiempo con el movimiento. Newton mantiene que el tiempo absoluto, verdadero y matemático fluye uniformemente, pero ¿qué es lo que fluye? ¿Fluye el tiempo, o, por el contrario, fluye el ser humano gracias a él? Antes de discutir algunos puntos de la anterior concepción es útil señalar que el espacio para Newton es infinito e inmóvil, homogéneo, isotrópico, euclidiano, posee unidad y es inseparable. Es decir, el espacio no está condicionado por nada externo y sus propiedades dependen de su misma naturaleza: es absoluto. Y, al igual que el espacio, el tiempo es absoluto en virtud de su fluir, puesto que es continuo, regular, real e incondicionado, por lo que fluye uniformemente. De este modo, Newton diferencia el tiempo absoluto del relativo de la siguiente manera:

³⁶ Bas C. van Fraassen, *Introducción a la filosofía del tiempo y del espacio* (Barcelona: Labor, 1978) 24.

³⁷ Aristóteles, *Física* (Madrid: Gredos, 1995) 220.

“el tiempo absoluto, verdadero y matemático en sí y por su naturaleza y sin relación a algo externo, fluye uniformemente, y por otro nombre se llama duración; el relativo, aparente y vulgar, es una medida sensible y externa de cualquier duración, mediante el movimiento (sea la medida igual o desigual) y de la que el vulgo usa en lugar del verdadero tiempo; así, la hora, el día, el mes, el año.”³⁸.

Sin embargo, las razones de Newton para defender los conceptos absolutos de espacio, tiempo y movimiento no sólo están relacionadas con principios físicos sino con razones teológicas: “Newton ve el fundamento de la duración en la eternidad de Dios, como ve el fundamento del espacio en su omnipresencia”³⁹. De esta forma, si alguien pretendía cuestionar a Newton en esta materia, él se ceñía al modo en que las cosas habían sido ordenadas por Dios, imponiendo así un argumento incuestionable. Del mismo modo que el espacio es condición necesaria para que los cuerpos puedan existir, el tiempo absoluto es condición necesaria para que los cuerpos puedan cambiar. Por consiguiente, si existiese materia pero no el tiempo, la materia sería inerte, no cambiaría, sería inmutable. Estas cantidades, espacio y tiempo, de Newton, son absolutas, verdaderas, matemáticas, reales, pero no son objeto de la experiencia pues no tienen relación con nada externo.

4.2. La fundamentación filosófica de la teoría de la Relatividad.

Las concepciones absolutas de tiempo y espacio que sostiene Newton servirán de motor para la elaboración de diversas concepciones filosóficas sobre tales nociones. Hume, en el *Tratado de la naturaleza humana*, aborda y cuestiona, como ya señalamos, los conceptos de «sustancia» y de «causalidad». Nos detendremos brevemente en la crítica que realiza a este último para entender más adecuadamente su idea de tiempo y de espacio.

Hume sostiene que los fundamentos o creencias básicas se refieren a aquellas impresiones sensoriales que percibimos y provienen del mundo externo. Sin embargo, los sentidos no son fiables, pueden inducirnos al error, haciendo que tales creencias puedan ser igualmente erróneas. Afirma también, que todo aquello que percibimos y que adquirimos de la experiencia a través de las impresiones se relaciona entre sí en virtud de relaciones de

³⁸ Isaac Newton, *Philosophiæ naturalis principia mathematica* (Editor digital: casc, Lectulandia, 2016) 88, <https://static1.squarespace.com/static/5d2dfea38c708800014f8c1a/t/62c46375cb355b76af0addc9/1657037694960/Principios+matematicos+de+la+filosofia+natural+Principia+-+Sir+Isaac+Newton.pdf>.

³⁹ Manuel García Doncel, “El tiempo en la física: de Newton a Einstein”, *Enrahonar*, n.º 15 (1989): 46.

causalidad que el sujeto genera entre esos distintos objetos. Esta relación entre hechos u objetos está ligada a un mismo espacio y tiempo, así como a una semejanza entre ellos, lo que significa que estos hechos u objetos que son relacionados mutuamente de manera causal, son contiguos en el espacio y tiempo, además de poseer ciertas semejanzas, por lo que el individuo les atribuye la cualidad de causa o efecto, suponiendo que se han producido los unos a los otros: "Nada puede actuar en un tiempo o espacio separado –por poco que sea– del correspondiente a su propia existencia" ⁴⁰.

La crítica de Hume a la noción de causalidad se fundamenta, por tanto, en que esas "hipotéticas" relaciones causales son contingentes, no necesarias: el hecho de que cualquier cosa pueda ser considerada causa o efecto, no quiere decir que, en efecto, así sea. No existe la impresión de esa cualidad universal que relaciona dos hechos o fenómenos como causa y efecto y, por ende, dicha cualidad tampoco existe; es el sujeto quien la crea. La causalidad ⁴¹ se deriva o surge de una relación entre estos hechos o elementos en la que existe un principio de semejanza y una contigüidad en el espacio y tiempo. La semejanza, por un lado, hace alusión al establecimiento de una serie de proporciones y similitudes entre los distintos objetos o hechos; y la contigüidad en el espacio y tiempo, por otro, alude a que estos objetos o hechos existen en un mismo espacio y tiempo, es decir, son contiguos. Para Hume, "la idea de espacio no es separable del orden de colocación de los objetos y la de tiempo no es separable del orden de su sucesión" ⁴².

Esta "crítica empirista" de Hume supondrá el despertar de Kant de su "sueño dogmático", la crítica de Hume y la solidez de la ciencia newtoniana, incitarán al filósofo a reflexionar sobre las condiciones de posibilidad de una metafísica. Para Kant, como también se ha expuesto, el espacio y el tiempo son formas puras de la percepción. En tanto que la existencia está comprendida y determinada en el tiempo, "toda determinación temporal supone algo permanente en la percepción"⁴³, por lo que, en efecto, se establece que dicha percepción está relacionada directamente con algo externo al propio sujeto. La determinación temporal de la existencia del sujeto es posible al referirse únicamente a cosas externas a la propia existencia, de lo que se sigue que la existencia de cosas externas a uno mismo es real.

⁴⁰ David Hume, *Tratado de la naturaleza humana* (Madrid: Tecnos, 1992) 134.

⁴¹ Entendida como una sucesión de hechos o elementos similares que han sido producidos por los hechos o elementos anteriores a cada uno de ellos.

⁴² Manuel García Doncel, "El tiempo en la física: de Newton a Einstein", *Enrahonar*, n.º 15 (1989): 48.

⁴³ I. Kant, KrV, B 275, trad. 1997, 247.

Kant distingue tres modos del tiempo: duración, sucesión y simultaneidad y sostiene que sólo existe un espacio y un tiempo, formas, no objetos, de la intuición que son previas a la existencia de los objetos sensibles. Las ideas kantianas sobre el espacio y el tiempo ejercerán su influencia no sólo en los filósofos, sino también en los científicos de la época. Junto a la concepción newtoniana de tales ideas, ambas impulsarán la creación de un nuevo marco teórico a partir del que se desarrollarán las posteriores teorías físicas.

Uno de los críticos más importantes, a efectos del presente trabajo, del sistema newtoniano será, ya a finales del siglo XIX y principios del XX, el físico Ernst Mach, quien defiende una especie de “positivismo psico-físico” en el que la realidad básica está conformada por las sensaciones, derivando en que los objetos sean meros “conjuntos de sensaciones”. Desde esta perspectiva lanzará su crítica contra el mecanicismo, conceptualmente dogmático, que estaba asentado en su época. Mach pondrá en tela de juicio la concepción newtoniana del espacio y tiempo absolutos e insistirá en su relatividad. Para él, Newton “se encuentra aún bajo el influjo de la filosofía medieval, como si empezara a ser infiel a su firme propósito de investigar únicamente hechos reales. Cuando decimos que una cosa A varía con el tiempo, queremos dar a entender simplemente que las condiciones que determinan la cosa A dependen de las condiciones que determinan otra cosa B”⁴⁴. Por su parte Mach, concibe el tiempo como una mera abstracción, a la cual se llega mediante los cambios que padecen las cosas, esta abstracción se da en virtud de que el sujeto no se encuentra restringido a ninguna medida definida. Mach, crítica así la idea newtoniana de tiempo absoluto, puesto que cualquier movimiento es capaz de ser uniforme con respecto a otro movimiento. Así pues, Mach concibe la cuestión sobre si un movimiento es en sí mismo uniforme como innecesaria: “Y no menos justificado está el hablar de un «tiempo absoluto», es decir, de un tiempo independiente de todo cambio. Este tiempo absoluto no se puede medir por comparación con ningún movimiento; por ende, está desprovisto tanto de valor práctico como científico [...] Se trata de una concepción metafísica ociosa”⁴⁵. Esta posición es extensible a la concepción newtoniana del espacio, siendo ambas, para Mach, completamente metafísicas.

Apoyándose en que los hechos de la experiencia constituyen el objeto del conocimiento, Mach concibió que no es posible conocer nada fuera de los objetos de la

⁴⁴ Leslie Pearce Williams, *Albert Einstein y otros. La teoría de la relatividad* (Barcelona: Altaya, 1993) 26.

⁴⁵ Williams, *Albert Einstein y otros. La teoría de la relatividad*, 26-27.

experiencia. De esta manera, el filósofo pretende demostrar que el tiempo relativo es la única noción de tiempo justificable, la cual está basada en la interconexión de las sensaciones del sujeto. Es decir, para el filósofo austriaco es posible alcanzar la idea de tiempo gracias a la conexión de los contenidos de la memoria con el contenido del campo de percepción. Ningún individuo “tiene competencia para emitir juicios acerca del espacio absoluto o del movimiento absoluto, pues son puras cosas del pensamiento, puras construcciones mentales que no se pueden producir en la experiencia”⁴⁶. Podemos apreciar entonces cómo la filosofía se encarga de reconducir a la ciencia, una ciencia que había caído en un dogma impuesto por ella misma que le impedía avanzar hacia nuevos horizontes y paradigmas. Einstein se apoyará en las concepciones filosóficas expuestas en el presente apartado, sobre todo las de Hume y Mach, para elaborar su concepción de espacio y tiempo relativos.

4.3. El marco filosófico de la teoría de la Relatividad.

Para poder entender el marco filosófico que presenta la teoría de la relatividad es preciso destacar que:

“La relación entre el desarrollo de la teoría de la Relatividad y la filosofía de la ciencia del siglo XX es a un tiempo compleja y fascinante. (...) La teoría de la Relatividad se desarrolló –posiblemente, en mayor medida que ninguna otra teoría científica– sobre un telón de fondo de motivaciones explícitamente filosóficas”⁴⁷.

No es ningún misterio la influencia que la figura de Mach ejerció sobre Albert Einstein. Considerado como uno de los mayores exponentes del carácter filosófico en la física, contribuyó, además, y enormemente, a la filosofía de la ciencia de finales del siglo XIX y del XX. Sin embargo, según el propio Einstein, el trabajo que realizó Hume le marcó mucho más que los escritos que pudo leer de Mach. Es curioso cómo un “simple” filósofo, sin ningún fundamento físico ni científico, inspiró a uno de los mayores pensadores del siglo XX.

Albert Einstein elaboró una breve prolongación a la crítica de Hume sobre la causalidad en la que el físico afirma estar de acuerdo con el filósofo acerca de que ciertos

⁴⁶ Williams, *Albert Einstein y otros. La teoría de la relatividad*, 28.

⁴⁷ Michael Friedman, *Fundamentos de las teorías del espacio-tiempo* (Madrid: Alianza, 1991) 21.

conceptos no pueden ser deducidos a partir del material experimental y simplemente son premisas necesarias del pensamiento. Sin embargo, considera errónea la distinción humeana entre los conceptos de origen empírico y las premisas del pensamiento, puesto que para Einstein cualquier tipo de conceptos, incluso los más cercanos a la experiencia, son desde el punto de vista lógico composiciones libres, exactamente como el concepto de causalidad. Los conceptos de espacio y tiempo no han sido extraídos de una experiencia universal, sino individual, por lo que, hay otras experiencias posibles.

En 1905 publica su famoso artículo titulado: *La electrodinámica de los cuerpos en movimiento*, en el que se plantean las bases de la teoría de la Relatividad especial, también llamada teoría de la Relatividad restringida. En este trabajo Einstein resuelve dos problemáticas fundamentales. Por una parte responde a las críticas formuladas a las bases conceptuales de la teoría de Newton, en particular las manifestadas por Mach respecto a la concepción metafísica del espacio y del tiempo; y por otra, responde a las crisis en que se encontraban las teorías acerca del éter. El presente apartado tratará exclusivamente las críticas formuladas a las bases conceptuales de la teoría de Newton, para así, poder observar el marco filosófico de dicha teoría. Einstein construye nuevos conceptos de espacio-tiempo abandonando la perspectiva metafísica de Newton. Para ello, parte de la medición de intervalos temporales y de distancias entre eventos por observadores con distintos estados de movimiento, es decir, cada individuo elabora su concepción espacio-temporal en base a su experiencia con dichos conceptos. Es innegable que la teoría de la Relatividad es considerada como uno de los grandes logros científicos e intelectuales del siglo XX, sin embargo, el contenido de dicha teoría es muy poco conocido, a pesar de su influencia sobre nuestra manera de pensar, no sólo en la física, sino también en matemáticas, filosofía, ciencias sociales y en todos los ámbitos de nuestra sociedad. Es preciso subrayar que dicha teoría se divide en dos partes: la Relatividad Especial (o restringida) describe la física vista por observadores inerciales en movimiento relativo y determina la estructura del espacio y el tiempo y la forma en que se pueden escribir las leyes de la física. La Relatividad General, por su parte, es la descripción moderna de la gravedad, que corrige la gravedad newtoniana e interpreta la interacción gravitatoria como la curvatura del espaciotiempo. Ambas teorías parecen desafiar la intuición y el sentido común, abandonando conceptos básicos como la universalidad del tiempo o la conservación de la masa, y reemplazándolos por un tiempo que transcurre de manera diferente para distintos observadores y espacios curvos. No obstante, en el presente apartado nos ceñiremos a la primera -la teoría de la Relatividad Especial- y a su

marco filosófico, aunque es preciso abordar su marco físico para entender la teoría en su totalidad.

El problema que asume y resuelve Einstein es la incompatibilidad entre el principio de relatividad de los sistemas inerciales y la hipótesis del carácter absoluto de la velocidad de la luz. Por esta razón reformula el principio de relatividad haciéndolo extensivo a los fenómenos electromagnéticos y, por lo tanto, a todos los fenómenos físicos, ya que, como se ha expuesto, la relatividad clásica sólo contemplaba los fenómenos mecánicos. Esto plantea un dilema: o bien el tiempo es absoluto, invariable ($t = t'$), o bien la velocidad de la luz es absoluta. Einstein rompe con la concepción newtoniana, abandonando y renunciando al carácter absoluto del espacio-tiempo, que pasan a ser considerados como relativos al sistema de referencia que se elige para la medición; además, la velocidad de la luz comienza a ser entendida como una magnitud finita y absoluta, dado que tiempo y espacio son relativos. Todo observador mide siempre la misma velocidad de la luz, independientemente de la velocidad con la que se mueva y de la velocidad de la fuente de luz, por lo que todo sistema de referencia está en igualdad de condiciones. De esta manera, Einstein rompe “con las reglas de conexión (utilizadas en la física clásica) entre las coordenadas espaciales y a la coordenada temporal de un suceso al pasar de un sistema inercial a otro”⁴⁸. Así, la idea fundamental para la teoría especial de la Relatividad es que las dos hipótesis de la constancia de la velocidad de la luz y la independencia de las leyes son compatibles “si para la conversión de las coordenadas y tiempos de un suceso se postulan relaciones de un nuevo tipo («transformación de Lorentz»)⁴⁹. Dado esto, es posible determinar que el principio universal de la teoría especial de la relatividad reside en la invariabilidad de las leyes físicas bajo las transformaciones de Lorentz. “Este es un principio restrictivo para las leyes naturales, comparable al principio restrictivo subyacente a la termodinámica en el sentido de la no existencia del *perpetuum mobile*”⁵⁰.

De esta manera queda claro que la teoría de la Relatividad implica y conlleva una crítica filosófica al concepto de tiempo y de simultaneidad. Einstein afirma que los juicios en los que interviene el tiempo son meramente juicios sobre sucesos simultáneos, por lo que es posible superar cualquier dificultad referente a la definición de tiempo sustituyendo “tiempo”

⁴⁸ Leslie Pearce Williams, *Albert Einstein y otros. La teoría de la relatividad* (Barcelona: Altaya, 1993) 103.

⁴⁹ Williams, *Albert Einstein y otros. La teoría de la relatividad*, 103.

⁵⁰ Williams, *Albert Einstein y otros. La teoría de la relatividad*, 104.

por “la posición de la manecilla pequeña de un reloj”. Según el físico, dicha definición es pertinente cuando se trata de definir el tiempo únicamente para el lugar donde está definido, el reloj. Por consiguiente, el tiempo no puede tratarse como una entidad que existe objetivamente y que deba caracterizarse sino que aparece como un concepto que hay que construir. Se abandona así la idea de que el tiempo y el espacio existen por sí mismos sin relación a nada externo, desvinculados de la experiencia sensible, y en contraposición se construyen conceptos de intervalo temporal y de longitud.

Einstein enumera los pasos necesarios para su determinación cuantitativa: el tiempo se mide mediante un movimiento periódico, o sea, un reloj. Medir el tiempo significa por tanto comparar movimientos, por lo que plantea “un criterio de sincronización de relojes colocados a distancia, que no utiliza más que sus dos principios generales y un postulado trivial. Pero de su razonamiento resulta que ese criterio depende del sistema inercial desde el que se establece la simultaneidad”⁵¹. De esta forma, no es posible conceder ninguna significación absoluta al concepto de simultaneidad, puesto que si dos sucesos son observados desde un sistema de coordenadas serán simultáneos, mientras que si son observados desde otro sistema que está en movimiento relativo respecto al primero, no serán observados como sucesos simultáneos. Así pues, al referir la experiencia de un sujeto a un reloj, calendario o cualquier medida de tiempo, se crea un concepto objetivo de tiempo, no obstante, dichos intervalos de tiempo medidos por inventos de humanos no refieren a cantidades absolutas impuestas al universo. Cualquier medida que se tiene sobre el tiempo ha sido elaborada en base al sistema solar, lo que refiere a una hora es meramente una medida del espacio, y lo que refiere a un año es simplemente una medida del movimiento recorrido por la Tierra en su órbita alrededor del sol.

De este modo es como Einstein logra eliminar el concepto físico de tiempo absoluto y simultaneidad absoluta bajo unos parámetros filosóficos. Se abandona la concepción que se tenía sobre el tiempo, que ya no es una escala en la que se pueden colocar ordenadamente todos los sucesos del universo. Ahora, cada individuo posee su propia escala. Einstein consiguió lo impensable, cambiar tanto el paradigma filosófico como el físico, y lo hizo apoyándose en ambas ramas de conocimiento. Por ello se afirma que “la hazaña de Einstein, que arranca de un análisis del sentido de los enunciados sobre el tiempo y espacio, fue en

⁵¹ Manuel García Doncel, “El tiempo en la física: de Newton a Einstein”, *Enrahonar*, n.º 15 (1989): 52.

realidad una hazaña filosófica”⁵². Esta hazaña no se limita al ámbito de la física o de la filosofía, sino que supone un cambio en el paradigma de la investigación. Los avances y progresos científicos se empiezan a concebir como avances de carácter filosófico. Estos avances “significan un esclarecimiento del sentido de las proposiciones fundamentales, y sólo logran resultados en ello quienes están dotados para la actividad filosófica. El gran investigador es también siempre un filósofo”⁵³.

⁵² Moritz Schlick, *El viraje de la filosofía*, en Ayer, A. J., *El positivismo lógico*, (México: Fondo de Cultura Económica, 1965) 63-64.

⁵³ Schlick, *El viraje de la filosofía*, en Ayer, A. J., *El positivismo lógico*, 64.

5. Conclusión y vías abiertas:

Albert Einstein, como hemos intentado mostrar en este trabajo, se sitúa en un marco filosófico que le permitió dudar y poner en entredicho las teorías aceptadas sobre el funcionamiento del universo. Logró establecer que el concepto de tiempo es relativo a la persona que lo experimenta, es decir, que el tiempo es un mero constructo mental fundamentado en la realidad. Esta afirmación posee un alto contenido filosófico; y no es de extrañar, pues, como ya hemos comentado, las ideas de Einstein vienen dadas por una serie de refutaciones filosóficas a los parámetros físicos aceptados en la época. Albert Einstein no sólo se sirvió de la filosofía para elaborar su teoría, sino que fue más allá: se la tomó en serio. Para un físico de su reputación y reconocimiento, expresar abiertamente que la filosofía supuso la base de la creación de una de las teorías más influyentes de toda la historia es admirable, puesto que la filosofía, para la mayoría de los físicos de su tiempo, hacía referencia simplemente a cuestiones y preguntas vacías que no tenían solución.

Albert Einstein, con su fundamentación filosófica de la teoría de la Relatividad, elabora un nuevo giro copernicano en la ciencia y la filosofía del siglo XX en adelante, y vuelve a poner a la segunda en el pedestal que se merece, desligándola de la concepción que la ciencia le había atribuido como “herramienta” de reflexión. Las aportaciones de esta revolución conceptual son apreciables en la filosofía y en la ciencia, pero sobre todo en la filosofía de la ciencia actual. Los progresos en la comprensión del espacio y el tiempo siempre han conducido a avances significativos en ambos campos del conocimiento, siendo esta su máxima expresión.

Las vías abiertas de este tema se pueden encontrar curiosamente en el ámbito de la filosofía, pero a la inversa. Muchos filósofos y especialistas en filosofía sólo consideran aportaciones a esta rama aquellos trabajos cuyos contenidos se ciñen a contenidos que históricamente han sido relacionados con la misma. Pero la teoría de la Relatividad supuso un cambio en el paradigma científico y también en el ámbito filosófico, pues sus aportaciones contribuyeron a que se produjera un acercamiento entre la ciencia, la filosofía, y la filosofía de la ciencia -o al menos a que no se encontrasen tan distantes-. Albert Einstein es una figura tanto de la ciencia como de la filosofía de la ciencia, y con este trabajo he querido incitar, de algún modo, a que se empiecen a considerar las aportaciones que realizó, aunque fuera indirectamente, a la filosofía del siglo XX.

6. Bibliografía:

- Aristóteles. *Física*. Madrid: Gredos, 1995.
- Barnett, Lincoln. *El universo y el doctor Einstein*. México: Fondo de Cultura Económica, 1964.
- Bas C. van Fraassen. *Introducción a la filosofía del tiempo y del espacio*. Barcelona: Labor, 1978.
- Friedman, Michael. *Fundamentos de las teorías del espacio-tiempo*. Madrid: Alianza, 1991.
- García Doncel, Manuel. “El tiempo en la física: de Newton a Einstein”. *Enrahonar*, n.º 15 (1989): 39-59.
- Hoffmann, Banesh. *La relatividad y sus orígenes*. España: Labor, 1985.
- Hume, David. *Tratado de la naturaleza humana*. Madrid: Tecnos, 1992.
- Kant, Immanuel. *Crítica de la razón pura*. Madrid: Taurus, 1997.
- Newton, Isaac. *Philosophiæ naturalis principia mathematica*. Editor digital: case, Lectulandia, 2016.
<https://static1.squarespace.com/static/5d2dfea38c708800014f8c1a/t/62c46375cb355b76af0adc9/1657037694960/Principios+matematicos+de+la+filosofia+natural+Principia+-+Sir+Isaac+Newton.pdf>
- Pearce Williams, Leslie. *Albert Einstein y otros. La teoría de la relatividad*. Barcelona: Altaya, 1993.
- Real academia española: Diccionario de la lengua española, 23.^a ed., (versión 23.6 en línea) <<https://dle.rae.es>>, acceso el 9 de mayo de 2023.
- Rivadulla Rodríguez, Andrés. *Revoluciones en física*. Madrid: Trotta, 2003.
- Rivadulla Rodríguez, Andrés. *Albert Einstein y la Filosofía actual de la Ciencia*, 2012.
- Sala Mayato, Rafael. *El tiempo en mecánica. La estela invisible*. Madrid: Pirámide, 2021.
- Schlick, Moritz. *El viraje de la filosofía, en Ayer, A. J. . El positivismo lógico*, México: Fondo de Cultura Económica, 1965.

-Schwinger, Julian. *El legado de Einstein. La unidad del espacio y el tiempo*. Barcelona: Prensa Científica, 1995.

-Solís, Carlos. y Manuel Sellés. *Historia de la ciencia*. Madrid: Espasa, 2009.