

CONCEPTOS DE ESPACIO Y TIEMPO EN LA FÍSICA

Adolfo Manuel Pacheco Codina*

Abstract

Our purpose on writing this article is to establish, in a clear manner, the way the concepts of space and time have been developed. Physics has been built on these concepts therefore they are of great interest for everyone.

We tend to analyze these concepts from Kant's point of view We also will take a look especially to his Metaphysics and Transcendentalism.

We want to study the way these concepts have helped to construct new explanations within science and specifically within mechanics.

RESUMEN

Se presenta la *forma* como han evolucionado los conceptos de Espacio y Tiempo, conceptos fundamentales para la construcción de las teorías físicas, por lo que su estudio es de gran interés.

Se analizan los conceptos desde el punto de vista de Kant, dando una mirada especialmente desde su metafísica y trascendentalismo. Sobre los conceptos de Espacio y Tiempo se han construido nuevas explicaciones al interior de la ciencia y específicamente de la mecánica.

INTRODUCCIÓN

Desde el comienzo de la humanidad el hombre, en su intento de darse una explicación del mundo que lo rodea, ha construido su imagen simplificada e inteligible del mundo, del modo que le convenga e intenta que esta imagen reemplace al mundo de la experiencia sensorial.

A través de esta información surge una serie de conceptos fundamentales que tratan de explicarse lógicamente y coherentemente con base en planteamientos anteriores que le permiten dar su propia interpretación de éstos, de acuerdo al momento histórico-cultural en el que se desarrolle.

* Profesor Asociado Universidad Pedagógica Nacional. Departamento de Física.

En este artículo se trata de establecer, de una manera sucinta, la forma como son los conceptos de Espacio y Tiempo. Sobre estos conceptos se ha edificado la física y, por ende, su temática nunca pasa de actualidad.

Se pretende establecer los conceptos de Espacio y Tiempo dentro de la óptica de Kant y especialmente de su metafísica y ética trascendental. Se hace alusión a la forma cómo estos conceptos han inferido nuevas explicaciones en las ciencias y especialmente en la física clásica.

CONCEPTO DE ESPACIO Y TIEMPO EN LA ANTIGUEDAD

Concepto de espacio

Las investigaciones filosóficas, arqueológicas y antropológicas, muestran claramente que el pensamiento primitivo no era capaz de abstraer el concepto de espacio, de la experiencia espacial. Espacio no era más que un conjunto accidental de orientaciones concretas, una multitud más o menos ordenada de direcciones locales asociada, cada una de ellas, con determinadas reminiscencias emotivas. Este “Espacio” primitivo puede haber estado relacionado con un “Espacio” común al grupo, la familia o la tribu.

En las primeras sociedades urbanas, ni las longitudes ni las áreas ni tampoco los volúmenes eran concebidos en abstracto, como exteriores puramente espaciales. La arqueología demuestra que las primeras abstracciones estuvieron limitadas por los intereses patéticos.

El espacio, como objeto de investigación filosófica, aparece muy tempranamente en la filosofía griega, según Aristóteles, los números eran explicados por los pitagóricos como si tuvieran una especialidad. También por los pitagóricos se afirmaba la existencia del vacío, sostenían que gracias a lo limitado de su soplo penetraba hasta el mismo cielo; el cielo respiraría el vacío, de esta manera “delimitaría” las naturalezas. El vacío era una separación de dos seres consecutivos y su límite, el vacío es lo que delimita la naturaleza de los números.

Según Demócrito, la influencia del espacio no sólo es inherente al concepto mismo, sino que puede ser deducida del número infinito de átomos existente, puesto que éstos, aunque son indivisibles, tienen determinada magnitud y determinada extensión, no obstante que no sean perceptibles para nuestros sentidos.

La insistencia reiterada de los atomistas en la existencia del vacío, estaba dirigida contra la idea de Parménides y Meliso, quienes consideraban el universo como un pleno compacto, un todo continuo e inmutable. ‘No hay nada vacío’, decía Meliso, ‘pues el vacío no es nada y lo que no es nada no puede existir’. Contra el argumento, Leucipo y Demócrito mantuvieron la existencia del vacío como una conclusión lógica de la suposición atómica de la realidad.

Leucipo decía que la naturaleza está fundada en dos cosas; hay cuerpos y hay un vacío en el cual estos cuerpos están situados y a través del cual se mueven. Con Lucrecia, el espacio se convierte en un receptáculo infinito de los cuerpos.

Lucrecia creía en la influencia del espacio, pues afirmaba que si el espacio no fuera infinito en el curso de la eternidad ya transcurrida, toda la materia se habría sumergido

masivamente en el fondo del espacio como dotado de una dirección distinguido objetivamente; La vertical. Es, en esta dirección en a que los átomos corren a lo largo del espacio en líneas paralelas, es decir, el espacio es homogéneo pero no isotrópico.

Platón decía que la materia tiene que identificarse con el espacio vacío, es decir, un cuerpo físico no es más que una parte del espacio, limitada por las superficies geométricas que no contienen nada fuera del espacio vacío. Con Platón, la física se convierte en geometría, de la misma manera que con los pitagóricos se había convertido en aritmética.

Aristóteles asocia el espacio con una cantidad continua, es decir, la suma de todos los lugares ocupados por os cuerpos, entendiendo lugar como aquella parte del espacio cuyos límites coinciden con los del cuerpo ocupante.

Los cuatro supuestos primarios de Aristóteles, relacionados con el concepto del espacio que él llamó "lugar", son:

1. Que el lugar de una cosa no es parte o factor de la cosa misma, sino lo que abarca.
2. Que el lugar inmediato o "propio" de una cosa no es ni mayor ni menor que la cosa misma.
3. Que el lugar en el que está esta cosa puede ser dejado por ella y, parlo tanto, es separable de ella.
4. Que todos y cada uno de los lugares implican e involucran las relaciones de "arriba" y "abajo", y que todas las sustancias naturales tienen una tendencia natural a moverse hacia sus propios lugares particulares o a permanecer en ellos cuando están ahí. Aristóteles no da una definición estricta de espacio, sino que sencillamente parece ser una especie de extensión continua. De acuerdo con Aristóteles, el espacio es finito al igual que la materia.

En general, el espacio era concebido por la filosofía y la ciencia clásica griegas, en un principio, como algo no homogéneo, debido a su variación geométrica local, y más adelante como algo anisotrópico.

Concepto de tiempo

Desde hace mucho tiempo el hombre ha venido preguntándose qué es el tiempo. Un hombre común lo definiría como una medida de la duración; es decir, el cambio que lleva el pasado al presente y luego al futuro, reacciones psicológicas del ser humano ante el mundo que lo rodea; en efecto, depende del "sentimiento" de la duración que cada uno experimenta en su conciencia. Un físico, tal vez, utilizaría el tiempo como un parámetro para describir y explicar el comportamiento de la materia desde el campo de lo microscópico hasta el de la cosmología.

Un filósofo explicaría que el tiempo debe definirse en forma más fundamental mediante la representación que se hace el hombre del universo y del lugar que ocupa; por otro lado, el sociólogo y el antropólogo podrían considerarlo como una medida de la evolución de las sociedades humanas.

Aristóteles, Maimonides y el Tiempo

En la Grecia antigua, casi dos mil años antes de Newton, Aristóteles introdujo una noción del tiempo subjetivo. El tiempo era una medida del movimiento y este último se concebía como una entidad abstracta. Caracterizaba la capacidad de desplazamiento de un objeto material si estaba sometido a condiciones especiales y si se encontraba en un lugar determinado dentro del espacio, esta noción de tiempo no venía acompañada por ninguna geometría. La realización de la potencialidad de un movimiento se denominaba "locomoción".

MECÁNICA CLÁSICA

El concepto de espacio en la mecánica clásica

En la física clásica el espacio es considerado como un medio homogéneo que existe objetiva e independientemente de su contenido físico. Tal y como lo formula Newton en sus "Principia": "El espacio absoluto, en su propia naturaleza, sin relación con nada externo, permanece siempre igual e inmóvil". Esta era una hipótesis básica de la ciencia clásica. Newton no fue el primero que la formuló, ya que había sido planteada, entre otros, por Pierre Gassendi, Henry More, Telesio y Campanella. Dicho concepto, como acentuó Einstein, se hallaba naturalmente presente en el antiguo atomismo. Tan pronto como la materia fue definida como plenum-espacio ocupado en contraste con el vacío o espacio desocupado, se estableció la distinción entre el recipiente inmutable e independiente y su contenido físico variable (la propia materia, aunque en su esencia es invariable continuamente e inmutable, se hallaba, en cierto sentido, sujeta a cambio, por que sus partes constitutivas estaban dotadas de movimiento, este cambio no afecta a las partículas en si, sino únicamente a las distancias que las separan). Las posiciones subyacentes siguen enteramente las mismas, pero sus componentes varían de cuando en cuando, es decir, la materia se mueve en el espacio. Es esta separabilidad lógica del continente inmóvil vacío respecto de su contenido material móvil la que hace posible el desplazamiento. Los atomistas Griegos, al acentuar esta separabilidad del espacio y la materia prepararon, sin duda, el camino para el concepto Newtoniano de espacio independiente y absoluto.

Por otro lado, relacionado con la independencia e inmutabilidad del espacio está su homogeneidad. La hipótesis tácita de la homogeneidad del espacio se estableció tan pronto como se separa el espacio de su contenido físico y, esto, como ya se había mencionado, lo habían hecho los atomistas Griegos. A su juicio. Toda la diversidad cualitativa del mundo procede de las varias posiciones, formas y movimientos de la materia, no de alguna diferenciación intrínseca del propio espacio, como creían Aristóteles y sus seguidores. En el Siglo XVIII se consiguió, podríamos decirlo así, un retorno consciente a las antiguas ideas griegas. John Locke, contemporáneo y amigo de Newton, dice que el espacio nos permite distinguir das sensaciones simultáneas cualitativamente idénticas: dos objetos simultáneamente percibidos sólo pueden ser numéricamente distintos si están en dos lugares diferentes.

En la Física moderna, los sistemas de coordenadas no son más que una ficción útil. Esto no era así para Newton. A causa de la concepción realista que tenía Newton de los objetos matemáticos, estos espacios relativos constituían "medidas sensibles". El cuerpo de referencia no sólo es accesible a nuestros sentidos, sino que también depende de él, del "espacio relativo". Pero esta accesibilidad a la percepción sensible produce una

sensación de validez únicamente temporal y carente de generalidad. Es bastante posible que no exista ningún cuerpo en reposo al cual puedan referir-se los lugares y movimientos de otros cuerpos: todos estos espacios relativos pueden ser sistemas de coordenadas en movimiento, pero ¿moviéndose hacia qué? Para responder a este interrogante, Newton parte del reino de la experiencia, parlo menos de momento. Con sus famosas palabras “pero en las disposiciones filosóficas tenemos que abstraernos de nuestros sentidos?” Newton introduce el espacio absoluto e inmutable, del cual, el espacio relativo es sólo una medida. El último grado de precisión, la última verdad, sólo puede alcanzarse con referencia a este espacio absoluto. Este espacio es denominado el espacio verdadero.

La homogeneidad del espacio implica el que todas las posiciones sean equivalentes en el espacio clásico. Esto se halla en contraste con la cualidad absoluta de la posición en la física aristotélica. En el universo de Aristóteles, los denominados “lugares naturales” se diferenciaban no sólo por su exterioridad mutua sino también por sus respectivas distancias respecto a la tierra que junto con el sistema de las esferas celestiales representaban el ángulo absoluto de referencia. Las posiciones dentro de tal ángulo eran posiciones absolutas y sus diferentes distancias respecto del absoluto centro inmóvil del universo determinaban las cualidades intrínsecamente distintas de los diferentes “lugares naturales”. Hay una conexión entre la cualidad absoluta de la posición y la heterogeneidad del espacio. Sólo por medio de la eliminación de los términos y del centro del universo se pudo conservar la relatividad de la posición y de la homogeneidad del espacio; así cuando Giordano Bruno abarcaba el universo infinito de los atomistas antiguos, reafirmaba la homogeneidad del espacio, incompatible con la doctrina de los cuatro elementos y sus “lugares naturales”. En el espacio sin límites y cualitativamente indiferenciado no existen lugares privilegiados ni direcciones privilegiadas, por consiguiente no hay fundamento para el viejo dualismo de la tierra y el cielo, ni para los elementos cuantitativamente distintos que residen en sus propias regiones.

La homogeneidad del espacio implica también su divisibilidad infinita, como la relación de yuxtaposición universal relaciona a cualquier pareja de puntos, por muy próximos que se encuentren. Es decir, por muy pequeño que sea determinado intervalo espacial, siempre ha de ser un intervalo que separa dos puntos, cada uno de los cuales es externo respecto del otro.

Concepto de tiempo

El tiempo es el segundo concepto fundamental de la física clásica. Mientras que el espacio se definía como agregado tridimensional de términos homogéneos coexistentes, el tiempo se consideraba como agregado de una sola dimensión de términos sucesivos. La relación básica en el espacio es la yuxtaposición, la relación básica en el tiempo es la sucesión.

Los puntos del espacio están al lado unos de otros; los instantes del tiempo se siguen unos a otros. El tiempo como el espacio es considerado homogéneo. La uniformidad del tiempo era réplica de la inmutabilidad del espacio o, mejor, se le podría denominar fluidez uniforme. Así, es natural que los principios de la relatividad de la magnitud y de la posición tengan sus réplicas en la doctrina del tiempo clásico.

De nuevo formula Newton la independencia del tiempo con respecto a los cambios que tienen lugar en él. Según esta teoría, el tiempo fluye cambie o no alguna cosa; en la propia naturaleza, el tiempo está vacío y es solamente una vía accesoria y continuamente

llena de cambios. Los cambios están en el tiempo, no son el tiempo en sí. Esta distinción entre el tiempo y la transformación concreta se halla en los propios cimientos de la física clásica. Lo mismo que el espacio no implica materia, el tiempo no implica movimiento ni cambio en general, esto lo había manifestado claramente Isacc Barrow, maestro y predecesor de Newton, quien tuvo una gran influencia sobre la formación del concepto de Newton acerca del tiempo.

La influencia de la idea newtoniana acerca del tiempo era mucho más profunda que lo que generalmente se cree, pues iba más allá de los límites de la ciencia física. En el pensamiento kantiano, el tiempo es considerado también como un recipiente homogéneo que se llena desde fuera por el variable material de sensaciones. Es cierto que para Kant, el tiempo no poseía realidad extramental, era una forma de intuición a priori, pero no altera el hecho de ser naturaleza esencialmente newtoniana la aguda distinción entre un recipiente homogéneo inmutable y un contenido variable y heterogéneo. Podríamos hablar de un isomorfismo entre el pensamiento de Kant y el de Newton.

La independencia del tiempo respecto de su contenido es una secuencia directa de su homogeneidad. Los cambios concretos parecen ser o son heterogéneos. Mientras que los momentos sucesivos de la transformación física son diferentes, si no en cualidad al menos en sus aspectos geométricos y dinámicos, los instantes sucesivos del verdadero tiempo matemático carecen de otra diferenciación que la que resulta de su sucesión. En cuanto se refiere a su cualidad, los instantes temporales son perfectamente equivalentes, sus únicas facetas diferenciadoras se deben a sus diferentes posiciones en la serie temporal.

Por otra parte, de la homogeneidad del tiempo puede deducirse su infinitud que implica ausencia de todo momento inicial en el pasado o de todo momento final en el futuro, pues tales momentos poseerían un carácter privilegiado que sería totalmente incompatible con la homogeneidad del tiempo.

TIEMPO Y ESPACIO EN KANT

Para establecer los conceptos generales de Espacio y Tiempo en Kant, es necesario tener un conocimiento general de la llamada filosofía trascendental y cuál es el problema general de la misma, es decir las proposiciones sintéticas a priori.

Comienza Kant por afirmar que toda relación del conocimiento con los objetos está dado por la intuición, entendiéndose por intuición la representación que de un objeto nos es dada, esto se logra a través de la sensibilidad, es decir la capacidad de recibir la representación según la manera como los objetos nos afectan. Es decir, los objetos nos son dados mediante la sensibilidad y ella es únicamente la que nos ofrece las intenciones, pero sólo el entendimiento lo concibe y forma los conceptos. Los objetos afectan nuestra capacidad representativa mediante las sensaciones. La intuición que se adquiere en una sensación se llama empírica. Por otro lado, con el objeto de distinguir entre intuición pura e intuición empírica, llamó Materia del fenómeno a todo aquello del mismo que corresponde a la sensación, y forma del mismo a todo lo que hay en él en forma diversa, y puede ser ordenado mediante ciertas relaciones, según esto la materia de los fenómenos sólo puede dárseles a posteriori y la forma de los mismos debe hallarse ya preparada a priori en el espíritu para todos en general y por consiguiente puede ser considerada independientemente de toda sensación.

Para Kant, representación pura es aquella en la cual no se halla nada de lo que pertenece a la sensación. De aquí se deduce que la forma pura de las intuiciones sensibles en general, en la que es percibida toda diversidad de los fenómenos bajo ciertas relaciones, se encuentra a priori en el espíritu. Esta forma pura de sensibilidad se llama intuición pura.

Por ejemplo: cuando se abstrae la representación de un cuerpo, lo que se entiende como sustancia, fuerza, divisibilidad, la que pertenece a la sensación como impenetrabilidad, dureza, calor, etc., corresponde a la intuición empírica; en cambio, extensión y figura pertenecen a la intuición pura que tiene lugar a priori en el espíritu, como una forma pura de la sensibilidad, aun sin un objeto real de los sentidos o sensación. La ciencia de todos los principios a priori de la sensibilidad los llamó *estética trascendental*. Como parte de esta *estética trascendental* y como formas puras de la intuición sensible y como principios del conocimiento a priori, colocó Kant el tiempo y el espacio.

Concepto de espacio

Mediante el sentido externo, el cual es propiedad de nuestro espíritu, nos representamos objetos exteriores a nosotros y como reunidos en el espacio. En el espacio están determinados la figura, el tamaño y las relaciones de los objetos. Así como el tiempo no puede ser percibido exteriormente, tampoco el espacio es susceptible de ser considerado como algo interior a nosotros. El espacio es una representación necesaria a priori que sirve de fundamento a todas las intuiciones externas.

El espacio es la condición de posibilidad de los fenómenos, es una representación única del espacio, lo que sirve de base a todos los conceptos que tenemos del espacio, es una intuición a priori y no un concepto. El espacio es el principio que puede mostrar la posibilidad de otros conocimientos a priori. La geometría es una ciencia sintéticamente y, sin embargo, a priori las propiedades del espacio, para que todo sea posible, la representación del espacio debe ser una intuición a priori, es decir, debe ocurrir antes de toda percepción de un objeto, por tanto, debe ser una intuición pura y no empírica. Como consecuencia del concepto de espacio Kant establece que: el espacio no representa ninguna propiedad de las cosas.

El espacio no es más que una forma de los fenómenos de los sentidos externos, es la única condición subjetiva de la sensibilidad, mediante la cual no es posible la intuición externa. No podemos hablar del espacio, de seres externos, etc., nada más que desde el punto de vista del hombre, no podemos representarnos el espacio si salimos de la condición subjetiva, bajo la que únicamente podemos recibir la intuición externa; es decir, ser afectados por los objetos. El espacio comprende todas las cosas que nos aparecen exteriormente. "Todas las cosas están yuxtapuestas en el espacio". Exceptuando el espacio, no existe representación alguna subjetiva a priori, para que de ninguna de ellas pueden derivarse proposiciones sintéticas a priori como sucede con la intuición del espacio.

CONCEPTO DE TIEMPO EN KANT

Exposición metafísica

El tiempo no es un concepto empírico derivado de experiencia alguna, porque la simultaneidad o la sucesión no serían percibidas si la representación a priori del tiempo no le sirviera de fundamento. Para Kant, el tiempo es una representación necesaria que sirve de base a todas las intuiciones. El tiempo está dado a priori. Sólo en él es posible toda la realidad de los fenómenos. Sólo en esa necesidad a priori se funda también la posibilidad de los principios apodícticos, de las relaciones o axiomas del tiempo, como: el tiempo no tiene más que una dimensión, los diferentes tiempos no son simultáneos sino sucesivos. Estos principios no son deducidos de la experiencia, por que ésta no puede dar una estricta universalidad ni una certeza apodíctica. El tiempo no es ningún concepto discursivo, como se dice generalmente, sino una forma pura de intuición sensible. Tiempos diferentes no son más que partes del mismo. La naturaleza infinita del tiempo significa que toda cantidad determinada de tiempo es solamente posible por las limitaciones de un único tiempo que les sirve de fundamento.

Exposición trascendental del concepto de tiempo según Kant, basta complementar que los conceptos de mudanza y de movimiento sólo son posibles por y en la representación del tiempo y si esta representación no fuera una intuición interna a priori no podría ningún concepto, sea el que fuere, hacer comprensible la posibilidad de una mudanza, es decir, la posibilidad de unión de predicadas o contradictoriamente en un solo y mismo objeto. Solamente en el tiempo pueden encontrarse estas dos determinaciones contradictoriamente opuestas en una misma cosa, es decir sólo en la sucesión. En consecuencia:

El tiempo no subsiste por sí mismo ni pertenece a las cosas como determinación objetiva que permanezca en la cosa misma, una vez abstraídas todas las condiciones subjetivas de su intuición, el tiempo, sin objeto real sería, sin embargo, algo real; en el segundo caso, siendo una determinación de las cosas mismas a un orden establecido no podría predecir a los objetos como sin condición ni ser conocidos y percibidos a priori por suposiciones sintéticas, pero lo último tiene lugar si el tiempo no es más que la condición subjetiva bajo la cual son posibles en nosotros las intuiciones, porque entonces esta forma de la intuición interna puede ser representada antes que los objetos y por consiguiente, a priori. El tiempo es la forma del sentido interno, es decir de la intuición de nosotros mismos y de nuestro estado interior.

El tiempo es la condición formal a priori de todos los fenómenos en general. El tiempo es una condición a priori de todos los fenómenos en general, es la condición inmediata de nuestros fenómenos interiores y la condición mediata de los fenómenos exteriores.

Si se puede afirmar a priori, todos los fenómenos exteriores están en el espacio, se puede afirmar en el sentido amplia y partiendo del sentido interno. Todos los fenómenos en general, es decir todos los objetos de los sentidos están en el tiempo y están sujetos a las relaciones del tiempo.

CONCLUSIONES

Para Kant, el tiempo y el espacio son dos fuentes del conocimiento, de donde pueden derivarse a priori diferentes conocimientos a priori. Tomadas conjuntamente, espacio y

tiempo, son formas puras de toda intuición sensible que hacen posibles las proposiciones sintéticas a la estética trascendental; no puede contener más que dos elementos, espacio y tiempo, puesto que todos los otros conceptos no pertenecen a la sensibilidad, aun el mismo movimiento que reúne a los dos anteriores implica algo empírico, por que el movimiento supone la percepción de algo movable. El espacio no tiene nada de movable, lo movable debe ser, pues, algo que se encuentra por la experiencia en el espacio, y por consiguiente un dato empírico. Tampoco puede cantar entre sus datos a priori el concepto de cambio, porque el tiempo mismo no cambia sino algo que existe en el tiempo.

Por último, es necesario establecer que para Kant, entre los numerosos conceptos que forman el complicadísimo tejido del conocimiento humano, hay algunos que están destinados a un uso puro a priori, completamente independiente de toda experiencia y cuyo derecho necesita siempre una deducción, porque las pruebas tomadas de la experiencia no bastan para establecer la legitimidad de tal uso, aunque reconociendo que estas conceptos pueden referirse a objetos que no proceden de experiencia alguna. Y los conceptos que pueden ser deducidos de la experiencia y de la reflexión sobre ellas y su deducción es empírica.

Hay dos clases de conceptos, de una especie distinta una de otra, pero tienen en común que se refieren completamente a priori, a objetos, a saber los conceptos de espacio y tiempo como formas de sensibilidad y las categorías como conceptos de entendimiento.

BIBLIOGRAFÍA

- CAPEX, Milik. *El impacto de la física contemporánea*. De Tecnos. Madrid, 1973.
- JAMMER, Max. *Conceptos de espacio*. De Grijalbo, México D.F., 1970.
- REVISTA COLOMBIANA DE FÍSICA. Sociedad Colombiana de Física. Vol. 14, No.1, 1970.
- KOYRE, Alexander. *Estudios de historia del pensamiento científico*. De Siglo XXI, 1982.
- KANT, E. *Crítica de la razón pura*. Tomo I Ediciones Universales. Bogotá.