

FILOSOFÍA DEL ESPACIO Y FÍSICA RELATIVISTA

1.—REALISMO Y SUBJETIVISMO EN EL ESPACIO.

El espacio es una de las nociones más comunes en la vida del hombre. No pretendamos preguntar a cualquiera, como ha obtenido su idea de espacio; este concepto, tan familiar a la mente humana, se ha ido formando de una manera inconsciente, sin que nadie pueda prescindir de él en su vida cotidiana. Aunque el espacio es algo que no podemos ni ver, ni palpar, lo empleamos continuamente al expresar cualquier juicio sobre las cosas.

Todo nuestro mundo está inmerso en el espacio, y prescindiendo de él, no es posible imaginar como serían nuestros conceptos.

Todas nuestras ideas, aún las más abstractas y elevadas, tienen un origen sensitivo. De los datos suministrados por los sentidos, la inteligencia obtiene sus ideas universales, de forma que, lo que ahora es concepto en el entendimiento, primero nos llegó en forma de imagen, y a través de ellas es posible el pensamiento (1).

La misma naturaleza del hombre intuye de una manera inmediata esta realidad primordial del espacio, al recibir las sensaciones visuales. Ellas nos traen la realidad del movimiento, la presencia de cuerpos concretos que se acercan o se alejan, y necesariamente, como una consecuencia del movimiento, se forma en la mente la idea de espacio.

Pero este concepto de espacio, tan connatural a nuestra psicología, es uno de los enigmas más profundos de la naturaleza. La

(1) *De anima*, 431 b 19; 432 a 7-14.

noción corriente que se tiene de espacio, es la de un gran receptáculo donde se encuentran localizadas las cosas que vemos y tocamos.

Esta idea tan sencilla es antigua como la humanidad misma. Es el resultado de una intuición, que, haciendo centro en nuestro mismo cuerpo, extiende con la imaginación la posibilidad de movimiento en todas las direcciones.

Nuestros sentidos están en contacto con cosas concretas y distancias limitadas, pero la inteligencia con su poder abstractivo tiende a dejar las notas concretas individuantes, para quedarse solamente con una nota común a todas ellas: la distancia. "Gracias a este trabajo eliminador, se forma en nosotros una representación ideal, donde el espacio goza de una verdadera unidad y donde se muestra indefinidamente extensible en todas las direcciones e independientemente de la materia" (2).

Fue para explicar el movimiento local, como empezaron las primeras controversias sobre el espacio en la antigüedad griega.

Para los atomistas Leucipo y Demócrito, todos los cuerpos se componían de átomos, y como consecuencia lógica afirmaban la existencia de un vacío (kenon), para asegurar la posibilidad del movimiento. Este concepto de vacío, iba dirigido principalmente contra los argumentos de la escuela de Parménides, según el cual, el universo era un *todo lleno*, continuo e inmutable.

Esta concepción, que, el mismo Aristóteles nos dejó recogida en el libro primero de su *Metafísica*, asignaba plena realidad tanto al lleno (pleres), como al vacío (kenon), pues no tenía menor razón de ser el *vacío* que el *lleno*, como el *no-ser* no existe menos que el *ser* (3).

Con Lucrecio, esta idea dicotómica de la realidad cobra una expresión más acabada y poética. La naturaleza que existe por sí misma, está fundada sobre dos cosas: los cuerpos y el vacío en el que los cuerpos se mueven:

Omnis, ut est igitur per se, natura, duabus
 Consistit rebus; nam corpora sunt et inane,
 Haec in quo sita sunt, et qua diversa moventur" (4).

(2) D. NYS, *La notion d'espace*, Bruxelles 1922, p. 26.

(3) "Lo lleno, lo sólido, es el ser; lo vacío, lo raro es el no-ser. Por esta razón, según ellos, el no-ser existe lo mismo que el ser. En efecto, lo vacío existe lo mismo que el cuerpo; y desde el punto de vista de la materia estas son las causas de los seres" *I Met.*, 985 b 4-10.

(4) T. LUCRECIO CARO, *De rerum natura*, I, vers. 420.

El espacio venía a convertirse en un receptáculo absoluto, que además, tenía el carácter de infinito, a fin de permitir un movimiento eterno.

Platón trató del espacio en su diálogo el Timeo, pero de una manera tan oscura, que ha dado lugar a diversas interpretaciones. Para unos, este espacio sería una especie de vacío al modo de los atomistas. Otros, siguiendo la interpretación de Zeller, creen que su expresión de espacio sería equivalente a la materia prima de Aristóteles (5).

Con Platón, la Física viene a convertirse en Geometría, igual que con los pitagóricos se convirtió en Aritmética. Un cuerpo físico sería una parte del espacio limitada por superficies geométricas que lo encuadran dentro del espacio total, que, se convertía en el gran recipiente donde se recibían todos los seres formados por el Demiurgo. Esta es la opinión de G. Fraile: "Ciertamente que en Platón se hallan expresiones que favorecen la identificación del espacio con la materia, al lado de otras que parecen sugerir su identidad con la extensión. Pero quizá lo más exacto es considerar el espacio interpretándolo a la manera de un gran recipiente o receptáculo vacío, como una gran cavidad ilimitada, en la cual introduce el Demiurgo todos los seres, conforme va modelando y ordenando la materia a semejanza de las Formas y de los números. Con esto el espacio tendría por función principal la de separar, dispersar y distinguir unas de otras las realidades del mundo sensible" (6).

La afirmación griega de un espacio infinito, reaparecerá siglos después con Copérnico y con Newton, quien usó el espacio absoluto

perdían su significado, por ser esencial en el movimiento su relación a un punto fijo.

El espacio *absoluto* e inmóvil cumplía con tal requisito de sistema de referencia absoluta (7).

Esta sentencia de carácter marcadamente ultrarrealista, fue defendida en los siglos XVIII y XIX por autores de mentalidades tan diversas como Newton, Clarke, Fenelon y Euler.

El entusiasmo religioso de Newton en sus últimos años le llevó a conceder a este espacio *absoluto* un sentido espiritualista, reflejo de la inmensidad de Dios. No es que Dios sea la eternidad y la infinitud, mas es eterno e infinito. Las palabras del Salmista encontraban una interpretación inusitada: *Caeli enarrant Gloriam Dei* (8).

Las ideas de Newton fueron tenazmente defendidas por su discípulo Clarke contra las impugnaciones que le hizo Leibniz acerca de un espacio así considerado; pero la autoridad de Newton hizo que esta idea del espacio *absoluto* se introdujera en la Física, y lo que es más importante, en la mentalidad de los principales rectores del pensamiento.

Fenelón utiliza en sus escritos esta idea del espacio absoluto, como una expresión de la inmensidad de Dios, que presente a todas las cosas las conserva en su ser (9).

Tampoco fueron motivos teológicos los que le llevaron a Euler a admitir un espacio *absoluto*. Comprendía muy bien que un espacio concebido a la manera de Newton era una *abstracción*, pero la necesidad de admitir el movimiento absoluto, le lleva sin opción a admitir también el espacio *absoluto*. Las leyes del movimiento, si eran estables, no podían estar sujetas a la indeterminación de los movimientos relativos, ni a la voluntad humana que podía cambiar los sistemas de referencia. Esta parece ser la principal razón que le indujo a admitir el espacio absoluto: "Qui spatium absolutum negare voluerit in gravissima incommoda delabitur. Cum enim motum et quietem absolutam tamquam vanos sine mente sonos reicere debeat, non solum leges motus quæ huic principio innituntur reicere

(7) "Spatium absolutum, natura et sine relatione ad externum quodvis, semper manet similare et immobile". I. NEWTON, *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*, II, Londres 1779, p. 6.

(8) I. NEWTON, *Opticks*, p. 544.

(9) FENELON, *Tratado de la existencia y de los atributos de Dios*, cap. V,

debet, sed etiam ne ullas quidem leges motus dari affirmare cogitur" (10).

Si Dios aniquilara el universo a excepción de un solo cuerpo, y le comunicara un impulso, este cuerpo se movería según el principio de inercia, esto es, dejaría el lugar que ocupaba y se trasladaría ocupando sucesivos lugares; de donde se sigue, que, el lugar es realmente distinto del cuerpo que se mueve. Este razonamiento encajaba perfectamente en la Mecánica newtoniana, donde se concedía a la *fuerza* un carácter absoluto.

El argumento que ya era conocido de antiguo, siguió ejerciendo una influencia decisiva hasta los principios de nuestro siglo, dando lugar a numerosas teorías ultrarrealistas como pueden verse en la obra de Nys (11).

Militando en el extremo opuesto se encuentra la opinión subjetivista, dentro de la cual el principal defensor, debido a la repercusión epistemológica posterior, fue Kant.

Para Kant, el espacio es una forma *a priori* de la sensibilidad, debido a sus características de universalidad y necesidad. Algo que pertenece al sujeto; es decir, una condición subjetiva de la naturaleza humana para recibir las experiencias sensibles.

El concepto subjetivista de Kant es fruto de dos grandes corrientes epistemológicas que confluyen en él. El empirismo inglés, representado por Locke y Berkeley, le llega en la forma extremada de Hume, quien describe el espacio, como conjunto de puntos tangibles y visibles, que guardan un cierto orden. De forma que el espacio vacío de toda realidad que pueda afectar a la vista o al tacto, no puede ser mas que un ser ideal (12).

Por otro lado la tradición racionalista heredada de Leibniz, le recordaba que el espacio no era sino el orden de las cosas coexistentes, de modo que sin los cuerpos, el espacio no es sino la posibilidad de colocarlos.

Kant empieza por establecer un principio fundamental en su epistemología: Si bien todo conocimiento comienza con la experien-

art., 4, Lyon 1836, p. 222,32.

(10) EULER, *Theoria motus corporum solidorum*, c. 2, ed. de Berna 1948, p. 48.

(11) D. NYS, *La notion d'espace*, Bruxelles 1922, c. 1.

(12) D. HUME, *An Enquiry concerning Human Understanding*, W. Beston Publisher, Chicago-London-Toronto, 1952, sec. 5, part. II.

cia, no todo derivada de la experiencia. De esta manera, el espacio "no representa ni una propiedad de las cosas en sí ni de las relaciones entre ellas, es decir, ninguna determinación de las cosas que sea inherente a los objetos mismos y que subsiste si se hace abstracción de todas las consideraciones subjetivas de la intuición" (13). Es sólo una condición esencial de la actividad sensible, de forma que, junto con el tiempo, producen en nosotros las condiciones para que nos lleguen las percepciones de la sensibilidad. Por consiguiente, "si salimos de la condición subjetiva, sin la cual no podremos recibir la intuición externa —es decir, ser afectada por los objetos—, la representación del espacio no significa nada" (14).

La influencia que en los medios culturales, tanto científicos, como filosóficos tuvo la concepción subjetivista de Kant, fue inmensa. Una crítica de los argumentos de Kant se saldría de los límites de este trabajo, puede consultarse cualquier tratado sobre el particular. Aquí sólo nos interesaba dejar expuestas estas posiciones extremas, a fin de adquirir una elemental perspectiva histórica, necesaria para comprender la marcha en el esclarecimiento en la doctrina del espacio y la moderna aportación relativista a este respecto.

Ocupando una posición intermedia, dentro de la línea del realismo, se encuentra la doctrina aristotélica del *lugar*, base de la posterior elaboración de la Escolástica sobre el espacio, que les llevará directamente a interpretarlo como la misma realidad física.

2.—EL LUGAR Y EL ESPACIO EN EL ARISTOTELISMO.

En dos obras diferentes trató Aristóteles del *lugar*: En las *Categorías* y en la *Física*. Pero mientras que en el libro de las *Categorías* tiene un carácter superficial, en la *Física* adquiere el relieve de un verdadero tratado sistemático. Esta es la opinión de Duhem, que nos parece acertada, explicable dado el carácter tan diverso de ambos libros: "Ce qu'Aristote y dit du lieu pourrait fort bien s'accorder avec l'opinion que les Atomistes ou Platon en ont conçue; mieux encore peut-on dire que cela s'accorde avec le commun langage; les

(13) E. KANT, *Crítica de la razón pura*, ed. El Ateneo, Buenos Aires 1950, p. 64.

(14) *Ibid.*, p. 64.

propositions du Stagirite sous-entendent, en effet, cette définition banale : Le lieu d'un corps, c'est la partie de l'espace que ce corps occupe" (15).

En el tratado de la Física, la palabra *lugar* siempre viene expresada por el término (topos), con un significado totalmente diverso a aquel espacio vacío de los atomistas (kenon), o del mismo Platón.

Según los principios aristotélicos la presencia de este *vacío* entre los cuerpos, lejos de permitir el movimiento, sería un obstáculo insalvable, haciendo imposible todo movimiento local.

Sus doctrinas sobre el *lugar* son de particular importancia, no sólo por el influjo que tuvieron durante siglos, sino porque han contribuido a la clarificación del concepto de espacio en tiempos más recientes. La teoría aristotélica sobre el lugar se presenta ante los ojos de la Física contemporánea menos absurda de lo que pensaban los físicos del pasado siglo, y desde luego mucho más racional que el espacio y el tiempo *absolutos* de la Física clásica.

Es en el libro IV de su Física, donde Aristóteles desarrolla deductivamente las características del *lugar*. Para ello propone cuatro postulados que servirán para determinar su naturaleza : a) que el lugar contenga aquello de lo que es lugar, y sin embargo no es algo de la cosa localizada ; b) que el lugar propio de la cosa no sea mayor o menor que la cosa misma ; c) que no puede faltarle a la cosa localizada un cierto lugar, aunque no siempre sea el mismo ; d) que en todo lugar haya lo alto y lo bajo, lo que ofrece a cada cuerpo permanecer en su lugar propio, arriba o abajo (16).

Con este prenotando procede a una eliminación sistemática de aquellos conceptos que no cumplen con los postulados establecidos. El *lugar* no puede ser *forma* ; ni *materia* ; ni el *spatium inter extrema continentis*, sino *extrema continentis locatum*, esto es, *terminus immobilis continentis primum* (17).

Por consiguiente, el lugar es, ante todo, *algo real*, deducido de cualquier experiencia de movimiento local, pues siendo éste real, y distinto, tanto del término que abandona el móvil, como de aquél a donde se traslada, necesariamente ha de ser real.

(15) P. DUHEM, *Le système du Monde*, ed. Hermann, Paris 1913, v. I p. 197.

(16) *IV Phys.*, c. 4, 210 b 34, 211 a 1-6.

(17) *Ibid.*, 212 a 20,1.

Debe ser también *algo corpóreo* y extenso, pues se requiere una adecuación perfecta entre la cosa localizada y su lugar. Como todos los cuerpos se extienden en tres dimensiones, también el lugar debe gozar de esta propiedad de la extensión.

Es algo distinto del cuerpo localizado como se induce del movimiento, pero no es *cuerpo* distinto del cuerpo localizado, porque se daría el absurdo de que dos cuerpos ocupasen el mismo lugar.

Luego es la superficie que rodea al cuerpo localizado dotada de la característica de la inmovilidad.

Su carácter de *immobilis* parece a primera vista difícil de conciliar, y no obstante es fundamental. Supongamos un barco anclado en medio de un río; es claro que la superficie que rodea al barco está en constante movimiento por estar formada en parte por el agua y en parte por las corrientes de aire. ¿Dónde queda pues su inmovilidad?

Santo Tomás en su comentario a los Físicos, nos explica que esta superficie no se ha de tomar materialmente, sino en lo que expresa de formal, esto es, por relación a la esfera celeste que tiene inmóviles el centro y los polos: "Et per hoc similiter accipere debemus quomodo extremitates corporum mobilium naturalium sint locus, per respectum ad totum corpus sphaericum caeli, quod habet fixationem et immobilitatem propter immobilitatem centri et polorum. Sic igitur, licet haec pars aëris quae continebat, vel haec pars aquae affluat et moveatur in quantum est haec aqua; tamen secundum quod habet haec aqua rationem loci, scilicet situs et ordinis ad totum sphaericum caeli, semper manet" (18).

Es sorprendente esta idea de Santo Tomás aclarando el estudio de Aristóteles, cuyas palabras entrañan el concepto de *posición* de un cuerpo en el espacio, según establece la Física moderna, por relación a unas coordenadas cartesianas. Hoy, siguiendo las orientaciones de Mach o las de la mecánica relativista, sirven para el caso una terna de estrellas fijas, con respecto a cuyos ejes se refiere el movimiento y la quietud del principio de inercia.

De igual manera, por las distancias a tres ejes fijos, se determina la posición de un cuerpo según la geometría analítica, y no por las distancias relativas a los cuerpos que le rodean.

(18) *In IV Phys.*, 1. 6, n. 14.

Esta importante formalidad es la que nos enseña Santo Tomás en las siguientes palabras: "Quia terminus continentis non erat locus in quantum est haec superficies istius corporis mobilis sed secundum ordinem vel situm quem habet in toto immobili. Ex quo patet quod tota ratio loci in omnibus continentibus est ex primo continente et locante, scilicet caelo" (19).

De la adecuación propia entre lugar y cuerpo locante, se deduce que el lugar propio de un cuerpo, *terminus continentis immobilis*, es la medida extrínseca del mismo, de igual manera que la medida intrínseca viene representada por sus dimensiones: "Mensuratur autem corpus mensura intrínseca, sicut linea vel superficie, vel profunditate, et mensura extrínseca, sicut locatum loco, et motus tempore, et pannus ulna" (20).

Esta adecuación se debe a que los límites de la cosa localizada son a la vez los del lugar, como nos dice Aristóteles: "Praeterea locus simul est cum re: quia termini simul sunt cum eo quod terminatur" (21).

La definición aristotélica del lugar salva las objeciones de Zenón sobre la imposibilidad del mismo, y en consecuencia la imposibilidad del movimiento; pues según Zenón, si el lugar era *algo* debía estar en *algo*, y así sucesivamente hasta el infinito.

En realidad, este argumento era concluyente contra la existencia de una serie de lugares superpuestos como una entidad dimensiva distinta del cuerpo localizado. Mas, el lugar se encuentra como un accidente en su sujeto, como medida extrínseca del cuerpo localizado: "Quod autem Zeno dubitabat, quia si locus est aliquid, erit in aliquo, solvere non est difficile: nihil enim vetat, primum locum esse quidem in alio; non tamen esse in illo ut in loco, sed quemadmodum sanitas est in calidis, ut habitus; calidum autem in corpore, ut affectio: quare non est necesse in infinitum abire" (22).

Tomando el universo como un *todo*, no se encuentra localizado en ningún lugar; la última esfera contiene a todos los demás cuerpos y ella a su vez no está localizada. Se mueve sobre su eje, pero sin posibilidad de trasladarse, pues no se encuentra en su lugar *secun-*

(19) *In IV Phys.*, 1, 6, n. 15.

(20) *De Veritate*, q. 1, a. 5, in c.

(21) *IV Phys.*, c. 4, 212 a 29,30; vers. Didot c. 4, n. 13.

(22) *Ibid.*, 210 b 23,28; v. Didot c. 3, n. 6.

dum totum, sino solamente *secundum partes*. En consecuencia fuera de ella nada existe: "Universum autem non est alicubi; quod enim est alicubi, et ipsum est aliquid et insuper oportet praeter hoc esse aliud quidpiam, in quo sit, seu quod ipsum contineat: sed praeter universum ac totum, nihil est quod scilicet sit extra universum" (23).

Es notable esta afirmación que contrasta vivamente con el concepto de espacio de la Física clásica, y nos transporta, sorprendentemente, a una semejanza formal con las más recientes ideas sobre el espacio, según veremos más abajo.

Hemos dejado apuntada la afirmación de como la idea de espacio es ajena a Aristóteles, no sólo en cuanto a la palabra misma que en griego no existe, sino en cuanto al contenido que le daban sus contemporáneos.

La palabra latina *spatium*, es la traducción de diversos términos griegos: Unas veces, espacio corresponde a la traducción de distancia (diastema); otras, es la longitud (mekos), o la magnitud (megezos), y más ordinariamente, vacío (kenon) y lugar (topos). Lo cual es ocasión de notable confusión en cuanto al concepto mismo de espacio, que cada autor resuelve según el propio criterio (24).

Mas lo cierto es, que, el espacio como *vacío* es algo totalmente extraño a la filosofía aristotélica, ya que el *vacío* no es nada, y la nada es incapaz de albergar a ningún cuerpo; mientras que el *lugar*, con su carácter continuo, admite infinitos *lugares intermedios* entre los extremos, correspondientes a las infinitas posiciones del móvil en su tránsito del lugar *a quo*, hasta el lugar o término *ad quem*. Es en esencia, el fundamento lógico del carácter continuo de la función analítica del movimiento tal y como lo emplea la Cinemática.

Santo Tomás utiliza con frecuencia la palabra espacio, pero con diverso sentido:

a) Unas veces *spatium* significa el espacio vacío, es decir el *spatium vacuum*, y entonces lo rechaza como el mismo Aristóteles. Así hablando de la eternidad del mundo dice: "Ante creationem mundi non fuit vacuum, sicut neque post: vacuum non est tantum negatio sed privatio; unde ad positionem vacui oportet ponere locum vel dimensiones separatas, sicut ponentes vacuum dicebant; quorum nullum ponimus ante mundum" (25).

(23) *Ibid.*, 212 b 13,17; v. Didot c. 5, n. 2.

(24) F. SELVAGGI, *Cosmologia*, Roma 1959, p. 84.

(25) *In II Sent.*, dist., 1, a. 5, ad 4.

Y en el lugar paralelo de la Suma Teológica expresa la misma idea utilizando la palabra espacio: "Nos autem dicimus non fuisse locum aut spatium ante mundum" (26).

b) También significa *distancia* o longitud que recorre un móvil durante un tiempo determinado: Tardum et velox determinantur ex tempore: quia velox dicitur quod movetur per multum spatium in paucis tempore; tardum autem quod e converso per paucum spatium in multo tempore" (27).

En su comentario, Santo Tomás ha introducido la palabra *espacio* que Aristóteles no utiliza de ningún modo al exponer su pasaje: velox quidem id quod brevi tempore multum movetur, tardum autem, quod longo tempore parvum" (28).

Es notable que Aristóteles para expresar la magnitud recorrida por el móvil emplee un adjetivo en la forma neutra, sin sustantivo, mientras que Santo Tomás completa la frase con la palabra *espacio*. Puede verse repetidamente cuando trata del movimiento en el libro VI de sus comentarios a los libros de la Física. De lo cual se deduce, que, para Santo Tomás, el espacio tiene un significado físico bien concreto distinto del *espacio vacío*, ya que su carácter continuo permite infinitas posiciones del cuerpo que se mueve; con ello, el concepto de *espacio* se asimila a las características formales que Aristóteles y el mismo Santo Tomás concedían al *lugar*, como relación de distancia a unos puntos fijos que determinan su *posición*.

La corriente nominalista de París en el siglo XIV interpreta el espacio como una medida de extensión real. A esta concepción responden las sentencias de Buridano y Alberto de Saxonia.

Buridano afirmaba que "la distancia no puede darse sino por dimensiones intermedias" (29), mientras que Alberto de Saxonia se expresaba así en su comentario al Estagirita: "Dico enim quod spatium non est nisi dimensio corporis et spatium tuum dimensio corporis tui, et antequam elevares brachium ultra illam sphaeram nihil esset ibi sed brachio elevato esset ibi spatium secundum dimensio brachii tui" (30).

(26) I, 46, 1 ad 4.

(27) In IV Phys., 1. 16, n. 5.

(28) IV Phys., c. 10, 218 b 15,17; v. Didot c. 10, n. 10.

(29) Citado por F. DALLA ZUANA, *Doctrina de spatio in Schola nominalistica Parisiensi saec. XIV*, Roma 1936, p. 25.

(30) *Ibid.*, p. 48.

Esta expresiva sentencia se encuentra de algún modo en Suárez, que rechaza el espacio concebido a modo de receptáculo, pues esta capacidad "equivale a la simple ausencia de repugnancia a que los cuerpos la lleguen a ocupar en virtud de su aptitud natural" (31). Y más abajo añade: "Hoc spatium mihi videtur ens rationis, non tamen gratis fictum opere intellectus, sicut entia possible, sed sumpto fundamento ex ipsis corporibus, quatenus sua extensione apta sunt constituere spatia realia non solum quae nunc sunt, sed in infinitum extra caelum" (32).

De donde resulta que Suárez, a pesar de declarar el espacio absoluto como ser de razón con fundamento en los seres reales que forman el universo, le confiere a la postre una especie de extensión ilimitada donde los cuerpos ocuparían espacios reales en virtud de su extensión, lo cual significa conferir al espacio una entidad real y no solamente de razón (33).

Esta opinión de Suárez fue seguida por muchos escolásticos que basaron la realidad del espacio en la extensión de los cuerpos. Veremos como la doctrina aristotélica del *lugar*, en la trayectoria de Santo Tomás, su comentador más calificado, se encuadra formalmente en la Cinemática moderna sin la menor dificultad.

3.—EL ESPACIO CARTESIANO.

Las diversas acepciones que se encuentran en los autores contemporáneos se reducen simplemente a tres:

La primera, es aquella de un espacio absoluto e imaginario, que no es otra cosa que una elaboración de los sentidos internos a partir del hecho de las capacidades concretas, es un simple concepto mental que representa la posibilidad de un receptáculo vacío, capaz de ser ocupado por los cuerpos. En otras palabras, es un ente que sólo existe en la imaginación y se forma de una manera puramente psicológica. En él la Cosmología nada tiene que considerar. A este apartado se pueden reducir el espacio absoluto de Newton subsistente en sí mismo, independientemente de los cuerpos, y también el concepto

(31) F. SUAREZ, *Disput. Metaph.*, 51, sec. I, 12.

(32) *Ibid.*, I, 24.

(33) F. SELVAGGI, *Cosmologia*, Roma 1959, p. 109.

subjetivista de Kant, que encierra la confusión del espacio físico con el espacio subjetivo, y que por sus postulados sobre la teoría del conocimiento, lo afirma como una forma *a priori* necesaria para coordinar las sensaciones.

La segunda acepción es la de espacio matemático. Está muy cerca del concepto anterior, y no consiste sino en un concepto universal abstracto, sin referencia a ningún cuerpo en particular, donde tienen su función las relaciones entre cantidades (34).

La tercera acepción se refiere al espacio real, espacio físico, tal y como existe en el universo. Es el espacio que la Cinemática utiliza como una magnitud a la que referir el *movimiento* y la *posición* de los cuerpos. En efecto, el espacio recorrido por un móvil se establece según la relación: Espacio = velocidad por tiempo. Y permaneciendo la velocidad constante, ésta se obtiene dividiendo el espacio recorrido por el tiempo empleado, idea que concuerda completamente con la explicación de Santo Tomás cuando dice, que, un cuerpo es más o menos veloz, en tanto en cuanto que el espacio recorrido sea mayor o menor en el mismo tiempo; es decir, la velocidad es directamente proporcional al espacio recorrido, e inversamente proporcional al tiempo empleado (35).

Si en vez de considerar la medida del movimiento, se considera la *posición* del móvil en cualquiera de los momentos, esta posición es el *lugar* que ocupa, estableciéndose por relación a otros cuerpos fijos que se toman de referencia.

¿Qué significa el espacio recorrido o la distancia a unos puntos fijos? Formalmente no es sino una medida. Si una bola recorre la superficie de la mesa, el espacio recorrido resulta que es la medida de la longitud de la mesa. Y si damos la posición de un objeto en el espacio, lo que damos es la medida de tres *puentes ideales* que van del cuerpo a los tres planos ortogonales elegidos previamente.

En los dos casos la Cinemática opera con medidas; medidas de extensión o de distancia entre diversos cuerpos.

(34) "Un conjunto de puntos entre los que se ha definido una relación de proximidad", así lo define el profesor P. Abellanas. Por consiguiente hay indefinidos espacios matemáticos, según el modo de precisar la idea de proximidad. El problema de su validez se reduce al de su consistencia lógica, ya que todos ellos se fundan en la congruencia. El físico emplea en cada momento, el espacio matemático más cómodo para explicar el fenómeno que trata. P. ABELLANAS, *Segunda Aproximación Filosófica-Científica*, El Espacio, Zaragoza 1959, p. 143.

(35) *In IV Phys.*, 1. 16, n. 5.

Según esta deducción el espacio se puede reducir o bien a la misma extensión de los cuerpos, o a las relaciones de medidas entre ellos.

Los autores modernos se dividen claramente en las dos tendencias.

Los que identifican de alguna manera la extensión con el espacio, tienen un historial que se remonta a Descartes, para quien la extensión constituye la esencia de los cuerpos: "Naturam materiae, sive corporis in universum spectati, non consistere in eo quod sit res dura vel ponderosa vel colorata, vel alio aliquo modo sensus afficiens; sed tantum in eo quod sit res extensa in longum latum et profundum" (36).

Y el espacio no es sino la misma extensión de los cuerpos con una distinción en nuestro modo de concebir las cosas; esto es, mientras que la extensión tiene un sentido particular, el espacio tiene un sentido genérico: "Non etiam in re differunt spatium, sive locus internus, et substantia corporea in eo contenta, sed tantum in modo, quo a nobis concipi solent. Revera enim extensio in longum, latum et profundum, quae spatium constituit, eadem plane est cum illa quae constituit corpus. Sed in hoc differentia est, quod ipsam in corpore singularem consideramus, et putemus semper mutari quoties mutatur corpus; in spatio vero unitatem tantum genericam ipsi tribuamus, adeo ut mutato corpore quod spatium implet, non tantum extensio spatii censeatur, sed remanere una et eadem, quandiu manet eiusdem magnitudinis et figurae, servatque eundem situm inter externa quaedam corpora, quae per illud spatium determinamus" (37).

En esta misma línea está la sentencia de Balmes, que prescindiendo del constitutivo de los cuerpos, sea la extensión o no lo sea, identifica la extensión con el espacio. Después de analizar como nace en nosotros la idea del espacio, "Resumiendo esta doctrina y deduciendo sus consecuencias podríamos decir así: 1.º que el espacio no es mas que la extensión misma de los cuerpos. 2.º que la idea de espacio es la idea de extensión. 3.º que las diferentes partes concebidas en el espacio son las ideas de extensiones particulares, en las que no hemos prescindido de sus límites. 4.º que la idea de espacio infinito es la idea de extensión en toda su generalidad, y, por lo tanto,

(36) R. DESCARTES, *Princip. Phil.*, II, 4.

(37) *Ibid.*, II, 10.

prescindiendo del límite. 5.º que la imaginación de un espacio indefinido nace necesariamente del esfuerzo de la imaginación que destruye los límites, siguiendo la marcha generalizadora del entendimiento. 6.º que donde no hay cuerpo no hay espacio. 7.º que lo que se llama distancia no es otra cosa que la interposición de un cuerpo. 8.º que en desapareciendo todo cuerpo intermediario no hay distancia, pues hay inmediación, hay contacto, por necesidad absoluta. 9.º que si existiesen dos cuerpos solos en el universo, es metafísicamente imposible que disten entre sí. 10.º que el vacío, grande o pequeño, coacervado o diseminado, es absolutamente imposible" (38).

Esta idea cartesiana del espacio fue aceptada ampliamente por muchos que llegaron a identificarla con el espacio geométrico. Con la aparición de geometrías no euclidianas llegó a imponerse la distinción ya indicada entre espacio físico y espacio matemático.

A esta corriente cartesiana responde la posición reciente de R. Masi, que define así el espacio real: "spatium reale est ipsa extensio realis corporum, non prout est huius corporis vel alterius, sed prout est extensio... Ergo spatium non est extensio concreta et singularis corporum, huius scilicet corporis vel alterius: sed est extensio realis, realiter existens, praescindendo tamen a consideratione si haec sit individua aut alia, tametsi de facto haec aut alia sit. Ergo spatium reale est concreta et realis corporum extensio; inter extensionem corporum et spatium non adest distinctio realis sed rationis tantum" (39).

La distancia entre dos cuerpos para Masi, es una extensión intermedia que los separa, y que al considerarla en sentido formal constituye el espacio.

En consecuencia, rechaza las opiniones de los que afirman que el espacio es una relación de distancias o complejo de dimensiones: "Et similiter non recipimus opiniones omnes dicentes spatium esse relationem aut relationum dimensionalium complexum. Adsunt quidem respectus spatiales, quae in spatio sunt, sed non ipsae spatium constituunt" (40).

Entre los autores que proponen la idea de espacio como una relación de distancias, se encuentran los meritorios I. Gredt y D. Nys.

(38) J. BALMES, *Filosofía Fund.*, III, Madrid BAC 1963, p. 295,6.

(39) R. MASI, *Cosmología*, Roma 1961, p. 379.

(40) R. MASI, *Ibid.*, p. 379.

Para Gredt, el espacio real "inmediate sequitur quantitatem secundum trinam dimensionem tamquam relatio prioris et posterioris seu distantiae fundata a trina dimensione. Spatium enim reale in hac *relatione* consistit sive consideretur inter partes unius eiusdemque quantitatis sive inter diversas quantitates" (41).

Es claro, que, esta noción de espacio se salva tanto en los cuerpos compactos, como en la parte vacía que existe entre los astros, como parece indicar el autor en el lugar señalado.

Nys a su vez, expuso en los siguientes términos la definición de espacio: "La *définition métaphysique complète de l'espace concret* peut donc s'exprimer en la formule suivante: l'espace concret est una relation de distance, à triple dimension, dont les *fondaments réels* sont constitués par les accidents localisateurs qui donnent aux corps-limites leur situation respective" (42).

En este concepto de espacio entran dos elementos: la distancia, o intervalo entre dos cuerpos, que en sí misma no es más que una relación, que tiene su valor objetivo de los términos o puntos de apoyo, y un elemento material de que "toda distancia real está limitada por cuerpos" (43).

En su tratado de Cosmología, Selvaggi reconoce como más conformes a su sentencia entre otros, la del P. Gredt, y en consecuencia expone así la noción de espacio: "nihil aliud est vel intelligitur quam complexus dimensionum in longum, latum et profundum, quae corporum physicorum realiter existentium extensionem constituunt, seu etiam trina dimensio mensurabilis et mensurans realem corporum extensionem" (44).

Esta opinión de Selvaggi, es la que nos parece que se adapta mejor a los conocimientos físicos del momento. En efecto, cuando se dice que un cuerpo recorre un espacio, se está pensando en algo sobre lo que se mueve; ésto es lo que ocurre a todos los móviles que se trasladan sobre una superficie. Pero ya no es igualmente aplicable cuando este móvil se traslada fuera de la superficie terrestre, por ejemplo, desde la Tierra hacia el Sol. La corteza terrestre juega un papel preponderante en nuestra vida y nos conduce a una concepción

(41) I. GREDT, *Elementa Philosophiae*, I, Friburg 1921, p. 237.

(42) D. NYS, *La notion d'espace*, Bruxelles 1922, p. 286.

(43) *Ibid.*, p. 217.

(44) F. SELVAGGI, *Cosmologia*, Roma 1959, p. 88.

particular sobre el espacio. Para evitar este error, Einstein sólo hablará de "cuerpos de referencia o espacios de referencia" (45).

No se puede decir que esta relación de medidas representa una capacidad para ser ocupada por un cuerpo concreto, pues entonces inconscientemente se está recurriendo a la noción imaginaria de espacio-receptáculo, sino que un cuerpo cualquiera está en el espacio como una parte del mismo, en el espacio total.

Este concepto de espacio como relación de medidas de proximidad es el que mejor se adecua a las expresiones de Santo Tomás cuyas conclusiones a modo de breve síntesis exponemos aquí para una fácil confrontación con la aportación relativista :

a) El volumen de un cuerpo se expresa por una relación de sus tres dimensiones. La métrica tiene, pues, un carácter esencialmente relativo (46).

b) Al volumen de cada cuerpo le corresponde un lugar propio, primera superficie inmóvil del cuerpo que lo contiene, que consiste en una relación métrica de dicha superficie con los tres puntos inmóviles que serían el centro y los polos de la última esfera (47).

c) El lugar de un móvil es la posición del cuerpo en el continuo, en un tiempo determinado. Por consiguiente, la trayectoria del móvil está formada por los sucesivos lugares que abandona y el término del movimiento. Entre ambos hay infinitos lugares en potencia (48).

d) El vacío no existe de ninguna manera, ni fuera de los cuerpos, ni dentro, a no ser que se quiera llamar así a la materia en cuanto causa del movimiento local (49).

e) Todos los cuerpos forman el universo, fuera de él nada existe, ni espacio, ni vacío (50).

f) El universo es finito y lo prueba con diversas razones (51).

g) El Universo, aunque finito, no está limitado por nada, ya que fuera de él nada existe (52).

(45) A. EINSTEIN, *Il significato della Relatività*, Torino 1950, p. 13.

(46) *In II De Caelo et mundo*, 1. 2, n. 2-4.

(47) *In IV Phys.*, 1. 6, n. 14.

(48) I, 53, 2.

(49) *In IV Phys.*, 1. 14, n. 14.

(50) *In I De caelo et mundo*, 1. 21, n. 3, y 1. 16, n. 1.

(51) *Ibid.*, 1. 2, n. 2, y 1. 12, n. 1.

(52) *In IV Phys.*, 1. 7, n. 14.

El hecho de que la Física aristotélica contuviera bastantes errores y ofreciera una imagen del universo deformada por la concepción geocéntrica del momento, fue motivo para que toda ella fuera olvidada como algo inútil. La ciencia moderna, a partir de la revolución copernicana reacciona contra el aristotelismo y se propone como fin inmediato descubrir, medir y formular las leyes que rigen el comportamiento de los cuerpos, expresando los resultados en ecuaciones matemáticas. Este proceso le llevó al estancamiento y al sentimiento de frustración con que acabó el siglo XIX. En la mentalidad de los físicos se habían introducido situaciones tan absurdas como la admisión de un espacio independiente de los cuerpos, las acciones a distancia y un tiempo absoluto independiente del universo y de nuestra consideración.

El universo lo concebían como un mecanismo perfecto, que se imponía por su regularidad; pero en nuestro siglo, la misma Física ha rechazado por infundada esta concepción en cuanto se traspasen los estrechos límites del espacio y del tiempo intuitivos. El universo vuelve a ser una incógnita que no se esclarece con sólo mediciones, sino que necesita de una nueva savia, que nos ponga ante él, como ante una realidad a descubrir, y no solo cómo ante una serie de datos empírico-matemáticos.

En este sentido la teoría de la Relatividad tiene un mérito innegable, en cuanto que intentó caminos nuevos para descifrar la naturaleza de nuestro mundo, de una manera objetiva, sin dependencia de nuestra actuación. En su intento llegará a unas conclusiones que guardan un interesante paralelismo con muchas de las conclusiones aristotélicas, presentadas por Santo Tomás.

4.—APORTACION RELATIVISTA.

Toda la Física clásica actuaba sobre un presupuesto admitido sin discusión: Esta promesa suponía que el espacio y el tiempo eran dos esquemas independientes entre sí, en los que se desarrollaban los acontecimientos con independencia a toda observación. Esto es, representaban una realidad objetiva y estable, a disposición de cualquiera que quisiera acercarse a conocerla.

Einstein comienza por asentar, que, toda afirmación espacial es relativa a un cuerpo determinado, sea la superficie de la Tierra,

sea cualquier otro que se tome como referencia. El espacio absoluto de Newton, como sistema fijo, en reposo, dentro del cual se puede distinguir un movimiento absoluto de uno relativo, desaparece para siempre ante la afirmación general de que todo movimiento es *relativo*.

La idea fundamental que sostiene a la teoría de la Relatividad, es la de que, las leyes de la naturaleza han de ser siempre idénticas sea cualquiera el sistema desde donde se las observe. Entre estas leyes aparece una que es básica : la constancia de la velocidad de propagación de la luz (53).

Consecuencia de esta constancia de la velocidad de propagación de la luz y del principio de relatividad, las longitudes y volúmenes de los cuerpos en movimiento tienen un valor variable. Esto es, la longitud de un cuerpo, como *distancia* entre dos puntos, tiene un valor distinto, dependiendo del sistema donde se mida ; apareciendo la longitud más corta, cuanto mayor es su velocidad respecto a un sistema tomado como fijo (54).

Por consiguiente, el espacio tomado como longitud, es *relativo*, y su contracción coincide con el grupo de transformaciones de Lorentz, que Einstein dedujo por otro camino totalmente diverso (55).

(53) A. EINSTEIN, *La théorie de la Relativité*, Paris 1921, p. 15,7.

(54) A título de ilustración, suponiendo conocida la cinemática relativista, recordemos que la contracción que experimenta un cuerpo en movimiento viene expresada por la ecuación

$$L = L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

donde *c*, representa la velocidad constante de propagación de la luz ; cuando las velocidades utilizadas son pequeñas, la contracción es totalmente imperceptible. Así, un avión volando a 1.000 km. por hora tan sólo experimenta una contracción aproximada de 0,000.000.000.000.5 cm. El caso es muy distinto si el cuerpo se mueve a razón de 260.000 km. por segundo, entonces su acortamiento es considerable, pues se reduce a la mitad. Estas predicciones teóricas se han cumplido en los colosales aceleradores de partículas, donde es posible imprimir a los protones unas velocidades próximas a la de la luz.

(55) Estas ecuaciones que Lorentz aplicó al estudio de los electrones son las siguientes :

$$x' = \frac{x - v \cdot t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \qquad y' = y \qquad z' = z \qquad t' = \frac{t - v / c^2 \cdot x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

ecuaciones que sustituyan a las clásicas de Galileo :

$$\begin{matrix} x' = x - v \cdot t & z' = z \\ y' = y & t' = t \end{matrix}$$

Esta afirmación de la variación de las longitudes con la velocidad es algo totalmente extraño a la Física clásica, algo que jamás podía haber imaginado. Einstein nos dirá que era completamente lógico, debido a las pequeñas velocidades y aceleraciones con que trabajaba de ordenario la Física.

En el mismo grupo de transformaciones de Lorentz se aprecia, que, a la vez que la longitud se acorta, el tiempo se alarga para cada cuerpo según la velocidad, de donde resulta que también el tiempo es *relativo*. Pero así como el espacio es relativo y lo mismo el tiempo, siguiendo sus deducciones, Einstein establece un nuevo absoluto: el continuo espacio-tiempo.

Fue Sommerfeld quien propuso, que, sería más adecuado cambiar el nombre a la teoría de la Relatividad, por aquella de teoría de los "invariantes". En efecto, junto a la absolutez de las leyes de la naturaleza, aparece un nuevo absoluto, una magnitud que se conserva idéntica para cualquier sistema inercial desde el que se haga la medición. Es el *intervalo* espacio-tiempo. Veamos como lo expone el mismo Einstein: "Tal y como desde el punto de vista newtoniano era necesario hacer las dos hipótesis, *tempus est absolutum, spatium est absolutum*, así desde el punto de vista de la Relatividad particular debemos decir: *continuum spatii et temporis est absolutum*. En esta última hipótesis, *absolutum* significa no sólo *físicamente real*, sino también independiente en sus propiedades físicas, teniendo un efecto físico, pero no influenciado a su vez de las condiciones físicas" (56).

Pronto se dio cuenta Minkowski, de que este continuo espacio temporal, mediante un pequeño artificio de cálculo se le podía representar como un espacio geométrico tetradimensional pseudoeuclídeo, con las propiedades de que el *intervalo* se seguían conservando absoluto, y además gozaba de la propiedad de simetría espacio temporal.

Este espacio tetradimensional, conocido como universo de Minkowski, fue objeto de críticas muy duras, especialmente de los seguidores de la escuela bergsoniana, para los que aparecía como un desastre ver desaparecer el tiempo engullido en el continuo espacio temporal.

(56) A. EINSTEIN, *Il significato della Relatività*, Torino 1950, p. 63.

En realidad, fuera de la expresión desafortunada de Minkowski al afirmar: "desde ahora en adelante el espacio en sí mismo y el tiempo en sí mismo son meras sombras, y tan sólo una especie de unión entre ambos conserva la independencia", no tienen ninguna consecuencia que no estuviese ya implicada en la concepción relativista (57).

La Mecánica clásica ya utilizaba de algún modo el continuo tetradimensional, con la diferencia de que los valores correspondientes al tiempo tenían una realidad independiente del sistema de referencia. De esta manera, el continuo se dividía en dos entidades, el tridimensional del espacio y el monodimensional del tiempo. Pero en la teoría de la Relatividad, al no conservar su independencia ni el espacio ni el tiempo, sino la fusión de ambos, entonces la distancia entre dos puntos $ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2$, no es invariante, ni tampoco el tiempo dt , sino el espacio-tiempo: $ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2 - dt^2c^2$, que se llamó *intervalo* de universo.

La aportación de Minkowski consiste en facilitar el cálculo matemático al utilizar las fórmulas del grupo de transformación de Lorentz. Para ello bastaba multiplicar la coordenada temporal, por la unidad imaginaria, raíz cuadrada de menos uno, obteniéndose una expresión tensorial tetradimensional, de modo semejante a como se había para el espacio geométrico tridimensional.

De esta manera el *intervalo* del continuo espacio-tiempo:

$$ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2 - dc^2t^2 \quad (a)$$

se convierte en:

$$ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2 + dc^2T^2 \quad (b)$$

la expresión así obtenida sigue siendo un invariante, y goza a la vez de la importante propiedad de simetría, de la que no gozaba en la forma (a). El precio pagado sin embargo es muy alto; porque el tiempo (T) ya no es el tiempo físico, sino éste multiplicado por la unidad imaginaria; pero el artificio resultaba beneficioso para el cálculo.

No obstante esta fusión del espacio y del tiempo, el continuo así obtenido no es de ninguna de las maneras *isótropo*. Las características espaciales y las temporales quedan perfectamente diferenciadas, como el mismo Einstein declaró en varias ocasiones:

(57) MINKOWSKI, Discurso recogido en *Phys. Z S*, 10 (1909) p. 104.

"La indivisibilidad del continuo tetradimensional de los sucesos no implica de ningún modo la equivalencia de las coordenadas espaciales con la coordenada temporal; al contrario, se debe recordar que esta última está definida físicamente de un modo del todo diverso de las coordenadas espaciales" (58).

Es bastante precisa la expresión, para no caer en temor de confusión entre los órdenes espacial y temporal; el continuo postulado por la teoría de la Relatividad conserva los caracteres espacio temporales, pero no separados, no independientes el uno del otro. A su vez la innovación de Minkowski se debe mirar como un artificio de cálculo provechoso por la simplificación que introduce en las ecuaciones.

En el universo de Minkowski, el conjunto de acontecimientos forman el universo, y cada suceso, parte representativa del mismo universo, tiene una representación absoluta, independientemente del observador y de su estado de movimiento, que se escinde en sus componentes espacio y tiempo según la velocidad. De esta manera, cada fenómeno queda expresado por cuatro números que fijan su existencia; tres de carácter espacial y uno de carácter temporal.

Han aparecido diversas paradojas, a propósito de esta representación del universo, que trataremos al referirnos al concepto de tiempo. Aquí solo dejamos anotado la aportación de la Relatividad al problema del espacio y su afirmación del absoluto espacio-tiempo, en lugar del espacio absoluto y el tiempo absoluto que postulaba la Física clásica.

Este continuo espacio-tiempo que constituye el universo, aparece como un todo homogéneo en el que el vacío no tiene lugar. Los inmensos espacios interestelares no están completamente vacíos, sino que entre los astros se extienden campos con propiedades físicas bien definidas. Materia y energía como expresiones de la misma realidad se extienden por doquier. Veamos unas palabras de Einstein e Infeld exponiendo esta realidad:

"La teoría de la Relatividad nos ha enseñado que la materia representa inmensas reservas de energía, y que la energía las representa de materia. No podemos por tanto distinguir cualitativamente entre la *materia* y el *campo*, puesto que la distinción entre masa y

(58) A. EINSTEIN, *Il significato della Relatività*, Torino 1950, p. 40.

energía no es de orden cualitativo. La mayor parte de la energía está concentrada en *materia*, pero el *campo* que rodea la partícula representa igualmente energía, aunque en cantidad incomparablemente menor.

Podríamos por tanto decir : la *materia* se encuentra allí donde la concentración de energía es grande y el *campo* donde la concentración es pequeña. Pero si esto es así, la diferencia entre la *materia* y el *campo* es más bien de orden cuantitativo que de orden cualitativo. No tiene pues sentido considerar la *materia* y el *campo* como dos cualidades totalmente diferentes una de otro. No podemos imaginar una superficie definida que separe claramente el *campo* de la *materia* (59).

Esta idea contrasta vivamente con las ideas de la Física clásica. Para Newton la fuerza de la gravitación se ejercía instantáneamente a través de los inmensos espacios vacíos. Esta idea no acababa de encontrar sitio en las mentes filosóficas, para quienes las *acciones a distancia* se debían reducir de alguna manera a una *acción inmediata*, transmitida de lugar en lugar por una conexión espacial. Por eso, la idea del éter fue acogida con entusiasmo por físicos y filósofos.

El éter sería el que transmitiera las acciones gravíticas a través de los espacios libres de materia.

Pero la fuerza de los hechos hicieron caer en sesuso a este hipotético soporte de las ondas gravitatorias. Una expresión de Le-maître, pronunciada en 1909, nos sitúa en una nueva época : "El éter no existe, o más exactamente debemos renunciar a servirnos de esta imagen". Efectivamente, aunque el éter era algo absurdo tal y como se lo concebía, sin embargo, su necesidad ontológica era real. El avance introducido por la teoría de la Relatividad, está en afirmar que el espacio físico no es el vacío, carente de propiedades físicas, antes bien, juega un papel básico en la constitución del universo, pues el *espacio* es el que produce la gravitación y la inercia, lo mismo que las propiedades métricas de los cuerpos.

En su libro, *El éter y la teoría de la Relatividad*, realizó Einstein un profundo estudio del problema, examinando un éter tal y como lo concebía Lorentz : inmóvil. Esta imagen resulta absurda y es el resultado lógico de presentar al universo como una construc-

(59) EINSTEIN E INFELD, *L'évolution des idées en Physique*, Paris 1938 p. 239.

ción mecanicista. Mas, el universo es algo más que una mera maquinaria; la teoría de *campo*, tan fecunda en la Física contemporánea, es la solución aportada por Einstein: "Ningún espacio por mínimo que sea, puede concebirse sin potenciales de gravitación, los cuales le confieren sus propiedades métricas. La existencia del campo de gravitación está íntimamente ligada a la existencia del espacio. Por el contrario, puede muy bien concebirse una parte de espacio sin campo electromagnético. El campo electromagnético al revés del campo gravitatorio, no está por consiguiente, ligado al éter sino de una manera accesoria por decirlo así; bien entendido que la naturaleza formal del campo electromagnético no está todavía determinada en modo alguno por la del éter gravitatorio... y como según nuestras concepciones actuales, las partículas elementales de la materia no son otra cosa en esencia que condensaciones del campo electromagnético, nuestra representación actual del mundo reconoce dos realidades que, aún ligadas por una conexión causal, están lógicamente separadas la una de la otra; estas realidades son el éter gravitatorio y el campo electromagnético, o, como se les podría llamar ya: *espacio y materia* (60).

Las acciones a distancia, en el sentido que antes se defendían, son imposibles, se realizan a través de campos de gravitación, como se ejerce la acción magnética a través de su propio campo. Cuando W. Ritz (61) hacía una crítica profunda de todas las teorías inventadas para explicar el éter, llamándole fantasma matemático, tenía que admitir un intermediario que sirviese de vehículo a las acciones de unos cuerpos sobre otros, o sea, que sin él no se puede explicar la acción a distancia. Las características que se asignaban al éter eran absurdas, lo mismo que defender acciones a distancia. La teoría de los *campos* de gravitación nos libra de ambos extremos.

En consecuencia, la teoría de la Relatividad reemplaza la acción instantánea transmitida a distancia con velocidad infinita, por una acción inmediata a través de los *campos*, con la velocidad de la luz.

Otra consecuencia interesantísima se desprende de la teoría de la relatividad mediante el estudio del intervalo ds^2 .

(60) A. EINSTEIN, *L'éther et la théorie de la Relativité*, Paris 1921, p. 13-15.

(61) Citado por L. URBANO, *Einstein y S. Tomás*, Madrid 1926, p. 139.

Resulta que el universo, casi homogéneo, formado todo él de materia-energía, con núcleos de condensación que constituyen los astros y campos con potenciales gravitatorios, es finito, aunque ilimitado (62).

Los argumentos que presenta Einstein contra un espacio infinito son los siguientes :

a) "Desde el punto de vista de la teoría de la Relatividad, las condiciones para una superficie cerrada es mucho más simple que las condiciones correspondientes para un contorno infinito de un universo con estructura cuasi-euclídea.

b) Desde un punto de vista epistemológico es más satisfactorio que las propiedades mecánicas del espacio sean completamente determinadas por la materia, lo cual ocurre sólo en el caso de un universo espacialmente limitado.

c) Un universo infinito es posible sólo en el caso de que la densidad media de la materia en él contenida sea cero. Aún cuando tal hipótesis sea lógicamente posible, es menos probable que la hipótesis que nos da en el universo una densidad media finita" (63).

Por un camino diferente, mediante el análisis del intervalo espacial temporal introducido en la teoría de la Relatividad, llega Einstein a una solución parecida a la que ofrecía la doctrina de Santo Tomás. Claro está, la explicación de la finitud y la ausencia de límites es muy distinta en uno y otro. Para Santo Tomás el universo era limitado y nada podía traspasar la última esfera por la naturaleza misma de los cuerpos que exigía este comportamiento de estar localizados dentro de la última esfera. Para Einstein, es debido a la naturaleza de nuestro espacio curvo que se cierra sobre sí mismo ; algo así como una pseudoesfera representable analíticamente, pero sin posibilidad de expresarla mediante una imagen.

Esta es la aportación de la teoría de la Relatividad al concepto de espacio. Significa un avance inmenso en el esclarecimiento del universo. Su doctrina sobre el espacio la podríamos resumir en los siguientes puntos :

a) El espacio se puede tomar como sinónimo de *trayectoria, longitud y universo*.

(62) A. EINSTEIN, *La théorie de la Relativité*, Paris 1921, p. 109.

(63) A. EINSTEIN, *Il significato della Relatività*, Torino 1960, p. 112.

b) Como *trayectoria* de un cuerpo en movimiento, su expresión analítica es invariable cuando se refiere a otro sistema en movimiento uniforme respecto al primero, utilizándose las transformaciones de Lorentz.

c) Como *longitud*, ésta varía con la velocidad, y sólo permanece constante el *intervalo* espacio-temporal.

d) Como *universo*, el espacio es el conjunto de materia-energía distribuida en campos gravitatorios y condensaciones electromagnéticas.

e) El espacio-universo es finito y se cierra sobre sí mismo sin ninguna limitación.

f) El papel de la Geometría es fundamental en la explicación del universo.

ENRIQUE MOLERO, O. P.